



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS AMBIENTAIS
SUSTENTÁVEIS- PPGSAS

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM
PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA EM MICROCERVEJARIA
E PROPOSIÇÃO DE REUTILIZAÇÃO**

Maurício Marsarioli

Lajeado, setembro de 2019



Maurício Marsarioli

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM
PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA EM MICROCERVEJARIA
E PROPOSIÇÃO DE REUTILIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Ambientais Sustentáveis, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas Ambientais Sustentáveis com linha de pesquisa em Sistemas Produtivos Agroindustriais Avançados.

Orientadora: Prof. Dra. Simone Stülp

Lajeado, setembro de 2019

Maurício Marsarioli

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS
EM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA EM
MICROCERVEJARIA E PROPOSIÇÃO DE REUTILIZAÇÃO**

A Banca examinadora abaixo aprova a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Ambientais Sustentáveis, Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas Ambientais Sustentáveis, linha de pesquisa em Sistemas Produtivos Agroindustriais Avançados.

Profa. Dra. Simone Stülp - Orientadora
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Profa. Dra. Fernanda Cristina Wiebusch Sindelar
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Profa. Dr. Guilherme Liberato da Silva
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Profa. Dra. Daniela Mueller de Lara
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul -
UERGS

Lajeado, setembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Primordialmente, agradeço a Deus, fonte inesgotável de força, superação e fé.

À professora e orientadora Dra. Simone Stülp, pela paciência, compreensão, suporte e partilha de conhecimentos tão valiosos para a conclusão deste trabalho.

Ao corpo docente do PPGSAS Univates, que com tanto primor ministraram as aulas, tornando nossos encontros uma experiência ímpar.

Ao Eng. Almir, responsável pela Cervejaria, que gentilmente abriu as portas da empresa para a realização deste trabalho e aos seus colaboradores Alexandre, Gustavo, Ortega e Edmundo.

Ao Sr. Odair e seu pai, proprietários do Sítio que também gentilmente contribuíram com informações valiosas para este trabalho.

Aos meus amigos Leandro e Regina, pela ajuda prestada ao longo dos trabalhos.

À minha esposa Elena pela paciência e à minha filha Ana Paula, pelas revisões de texto.

Ao meu pai, Sr. José, que nos deixou em pleno desenvolvimento do mestrado e que muita falta me faz neste momento e minha mãe, Zeni, que me ajudou e vem me ajudando nesta superação.

RESUMO

O setor cervejeiro é responsável por 1,6% do produto interno bruto brasileiro (PIB), com produção estimada de 14 Bilhões de litros/ano, sendo que o estado de São Paulo responde com 53,8% de toda a produção nacional. Uma parte significativa desta produção está nas microcervejarias, que participam com cerca de 2,7 % de toda a produção cervejeira nacional. Este volume de produção implica na geração de resíduos de forma equivalente, como bagaço de malte, trub e levedura de cerveja, além de outros resíduos como, por exemplo, rótulos, embalagens e cacos de vidro. O potencial gerador de resíduos pode representar impactos ambientais significativos, principalmente se o tratamento e destinação não forem adequados, podendo representar, também, oportunidades de redução no custo industrial. O objetivo desta pesquisa foi verificar a geração e destinação dos resíduos sólidos gerados em uma microcervejaria, através de estudo de caso de uma empresa e de uma propriedade rural criadora de gado leiteiro, ambos situados na região de Campinas/SP. Todos os resíduos sólidos identificados foram classificados quanto à periculosidade para o meio ambiente segundo a norma ABNT NBR 10.004/04. Adicionalmente, o bagaço de malte foi submetido a análises laboratoriais para caracterização físico-química. A classificação ABNT indicou que os resíduos são não perigosos sendo os de origem orgânica não inertes. A análise físico-química do bagaço de malte constatou elevadas concentrações de matéria orgânica, proteínas e fibras o que confirma o seu potencial uso no reaproveitamento em outros processos produtivos. A cervejaria avaliada se utiliza da destinação dos resíduos produtivos orgânicos para a suplementação alimentar de animais na propriedade rural visitada, porém este modelo não oferece retorno econômico atrativo e pode apresentar vulnerabilidade na demanda. Em alternativa, tem-se a possibilidade de desenvolver novos tipos de destinações, mais rentáveis e adaptadas à região, como no desenvolvimento de parcerias com empresas locais para a utilização do bagaço de malte na fabricação de polímeros biodegradáveis ou na destinação para a fabricação de blocos cerâmicos estruturais.

Palavras-chave: Resíduos de Cervejaria. Produção Mais Limpa. Microcervejaria.

ABSTRACT

The beer sector is responsible for 1.6% of the Brazilian gross domestic product (GDP), with estimated production of 14 billion liters / year, and the state of São Paulo accounts for 53.8% of all national production. A significant part of this production is in microbreweries, which account for about 2.7% of all national beer production. This production volume implies the generation of residues of equivalent form, such as spent grain (malt bagasse), trub and beer yeast. However, other wastes are generated, such as labels, packaging and glass shards. The potential for waste generation in the evaluated segment, associated with the high production rate, may represent environmental impacts of considerable size, especially if the treatment and disposal are not adequate, also representing opportunities for reductions in industrial costs. The objective of this research was to evaluate the brewing process in a microbrewery and to verify the conditions of generation and disposal of malt bagasse, trub and beer yeast residues, through a case study of a company and a dairy farm, both located in the region of Campinas / SP. All solid residues identified were classified as hazardous to the environment according to ABNT NBR 10.004 / 04. Additionally, the spent grain was subjected to laboratory analysis for physicochemical characterization. The ABNT classification indicated that the residues are non-hazardous and those of organic origin are not inert. The physicochemical analysis of spent grain found high concentrations of organic matter, protein and fiber, which confirms its potential use for reuse in other production processes. The evaluated brewery uses the destination of organic productive residues for food supplementation of animals in the rural property visited, but this model does not offer attractive economic return and may present vulnerability in demand. Alternatively, new types of destinations that are more cost-effective and adapted to the region may be developed, such as developing partnerships with local companies for the use of spent grain in the manufacture of biodegradable polymers or in the destination of blocks structural ceramics.

Key-words: Brewery waste. Cleaner Production. Microbrewery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Viabilidade econômica da P+L	13
Figura 2 – Opções da P+L	14
Figura 3 – Etapas da P+L	15
Figura 4 – Ciclo de vida dos materiais	19
Figura 5 – Inventários de entradas e saídas	20
Figura 6 – Processo de malteação	23
Figura 7 – Fluxograma de fabricação de cerveja	25
Figura 8 – Fluxograma de envase de garrafas retornáveis	26
Figura 9 – Distribuição das velocidades no envase	27
Figura 10 – Balanço de massas em processos cervejeiros	28
Figura 11 – Resíduos no processo de produção de cerveja	30
Figura 12 – Procedimento metodológico utilizado no estudo	33
Figura 13 – Classificação de resíduos – ABNT NBR 10.004	33
Figura 14 – Delimitação do escopo de trabalho	35
Figura 15 – Diagrama do tratamento de efluentes da cervejaria	40
Figura 16 – Processo cervejeiro da Cervejaria estudada	45
Figura 17 – Processo de envase de garrafas na Cervejaria estudada	47
Figura 18 – Água no rinser em circuito fechado	48
Figura 19 – Pasteurização de garrafas	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro 1 – P+L na Indústria de Cerveja	21
Quadro2 – Ficha formulário para inventário de entradas e saídas	36
Quadro 3 – Inventário de entradas e saídas Recepção e Armazenamento de matérias-primas	41
Quadro 4 – Inventário de entradas e saídas da Produção de cerveja	46
Quadro 5 – Descartes observados no envase da empresa avaliada	50
Quadro 6 – Classificação ABNT NBR 10.004 dos resíduos sólidos da empresa ..	51
Quadro 7 – Caracterização físico-química do resíduo bagaço de malte	52
Quadro 8 – Descartes observados na produção de cerveja da empresa avaliada	61
Quadro 9 – Descartes observados no envase de cerveja da empresa avaliada ..	61
Quadro 10 – Descartes observados na empresa avaliada	62

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	8
1.1 - Tema	8
1.2 - Delimitação do tema	9
1.3- Problema	9
1.4 - Hipótese	9
1.5- Objetivos	9
1.5.1 - Objetivo Geral	9
1.5.2 - Objetivos Específicos.....	9
1.6- Justificativa	10
 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	 11
2.1 - Produção Mais Limpa.....	11
2.1.1 - 3 R's - Redução, Reutilização e Reciclagem.....	15
2.1.2 - Avaliação do ciclo de vida dos produtos	18
2.1.3 - Aplicação da Produção Mais Limpa em indústria de alimentos.....	20
2.2 - Indústria da Cerveja.....	22
2.2.1 - Envase em garrafas	25
2.2.2 - Resíduos gerados na produção de cerveja	27
 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	 31
3.1 - Caracterização da pesquisa.....	31
3.2 - Coleta dos dados	32
3.3- Metodologia para caracterização dos resíduos	33
3.4- Metodologia para inventário de entradas e saídas	35

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 - Inventário das Entradas e Saídas	38
4.1.1 - Inventário – Recepção e armazenamento de insumos e matérias-primas	38
4.1.2 - Inventário – Produção de Cerveja	42
4.1.3 - Inventário – Envase de Cerveja	46
4.2 - Caracterização dos Resíduos	51
4.3 - Proposição de Reutilização	53
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
6 - CONCLUSÕES	64
7- REFERÊNCIAS	66

1 - INTRODUÇÃO

As cervejarias possuem uma estrutura básica que pode ser dividida para fins de organização em: processo e envase. No processo, a bebida é produzida através das etapas de fabricação do mosto, fermentação e filtração. No envase, existe uma particularidade para enchimento de barris, latas de alumínio e garrafas de vidro retornáveis ou não.

O maior volume de resíduo está no processo de fabricação do líquido, através do bagaço de malte, do trub e da levedura cervejeira. No envase, as garrafas de vidro retornáveis representam o tipo de recipiente que mais geram resíduos, principalmente em função dos rótulos e dos cacos de vidros resultantes dos estouros de garrafas em função da pressurização no enchimento e aquecimento no processo de pasteurização. As duas áreas produtivas (processo e envase) apresentam grande consumo de água, principalmente na limpeza e energia (elétrica e térmica).

A análise detalhada sobre as áreas de produção de cerveja pode permitir a identificação de oportunidades para minimização de perdas principalmente quando aplicada a metodologias como Produção Mais Limpa ou Análise do Ciclo de Vida, associadas aos conceitos dos 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), o que pode representar oportunidades para minimizar a geração de resíduos e utilização de recursos, trazendo benefícios econômicos para a empresa através da diminuição dos seus custos e, conseqüentemente, aumento das vantagens competitivas no mercado.

A partir destes pontos, o foco do trabalho está relacionado à avaliação do processo produtivo em uma microcervejaria e identificação de possíveis oportunidades de redução de geração de resíduos e consumo de energia, através da utilização dos princípios de Produção Mais Limpa e proposição de sugestões de melhoria conforme o caso.

1.1 - Tema

Identificação das situações geradoras de resíduos industriais em uma microcervejaria e proposição de ações mitigatórias alinhadas ao princípio de Produção Mais Limpa.

1.2 - Delimitação do tema

Verificação dos processos industriais e envase em uma microcervejaria com foco na identificação na geração de resíduos de bagaço de malte, trub e levedura de cerveja.

1.3- Problema

A produção de cerveja é caracterizada por um processo produtivo gerador de muitos resíduos (entre eles, bagaço de malte, levedura de cerveja e trub), que possuem características que possibilitam, em muitos casos, serem reutilizados em outros processos industriais. As microcervejarias representam atualmente o setor cervejeiro que mais cresce no Brasil e, com isso, apresentam grande potencial gerador de resíduos, já que não dispõem de recursos tecnológicos como as grandes cervejarias. Assim, considerando um estudo de caso de uma microcervejaria, quais são e como podem ser caracterizados os resíduos gerados no processo e envase? Quais são as possíveis reutilizações?

1.4 - Hipótese

Acredita-se que uma microcervejaria possua índices de descarte de matéria-prima e consumo de energia elevados e que a destinação dos resíduos gerados não seja feita na forma mais adequada, desconsiderando necessidades ambientais e oportunidades de retornos.

1.5- Objetivos

1.5.1 - Objetivo Geral

Avaliar o processo de produção de cerveja em uma microcervejaria e verificar as condições de geração e de destinação dos resíduos de bagaço de malte, trub e levedura de cerveja visando a reutilização.

1.5.2 - Objetivos Específicos

Dentre os objetivos acima elencados, listam-se os objetivos específicos:

- Verificar os processos convencionais para a produção de cerveja;
- Identificar os resíduos gerados na produção de cerveja;
- Relacionar volumes de produção com quantidade de resíduos gerados;
- Identificar as condições de descarte dos resíduos gerados;
- Realizar as proposições de eventuais ações de melhoria visando a minimização da geração de resíduos no processo produtivo através da aplicação de princípios da Produção Mais Limpa.

1.6- Justificativa

O mercado brasileiro de cerveja apresenta um volume anual de 14 bilhões de litros/ano, o que representa 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e faturamento anual na ordem de R\$ 77 bilhões (CERVBRASIL, 2016), ocupando a terceira colocação no ranking mundial de produção de cerveja, perdendo apenas para China e Estados Unidos da América, 46 e 22 Bilhões de litros/ano respectivamente (SINDCERV, 2016).

A geração de resíduo de levedura situa-se entre 1,5% e 3,0% da quantidade de cerveja produzida (FILLAUDEAU et al., 2006) e, assim, a expectativa de potencial no mercado brasileiro de cerveja situa-se entre 155,1 k ton e 310,2 k ton. Tal número expressivo se deve à alta capacidade de reprodução que a levedura possui, podendo aumentar de 3 a 5 vezes a massa original (Briggs, et al., 2004).

A possibilidade de reutilização de um desses resíduos certamente tornar-se-ia uma excelente prática quer seja na minimização de resíduos destinados ou mesmo na exaustão de recursos. Neste sentido, o presente trabalho busca verificar a viabilização técnica para reutilização dos resíduos de cerveja nos processos alimentícios.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo contempla a revisão teórica sobre a metodologia Produção Mais Limpa (P+L), com uma discussão sobre o princípio dos 3 R's e a apresentação de um estudo de caso da aplicação da P+L em indústrias de alimentos. Tem-se como objetivo reunir subsídios técnicos para possibilitar a identificação de eventuais oportunidades de minimização de resíduos nos processos produtivos de produção e envase.

Na sequência, é feita a revisão literária sobre o processo de fabricação e envase de cerveja, objetivando o conhecimento sobre as principais etapas de produção e a identificação prévia dos resíduos possivelmente gerados nas etapas produtivas.

2.1 - Produção Mais Limpa

Uma excelente definição sobre Produção Mais Limpa é proposta pelo Centro Nacional de Tecnologia limpa (CNTL), como sendo:

Produção Mais Limpa (P+L) é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos. (CNTL,2003, p.10).

Para Barbieri (2007), Produção Mais Limpa é uma estratégia ambiental preventiva aplicada à processos, produtos e serviços que objetiva diminuir ou neutralizar os impactos ambientais. Seu início se deu nos programas das Nações Unidas, mais especificamente na conferência de Estocolmo em 1972.

Para o CNTL (2003), alguns programas para otimização da produção se apresentam de forma sinônima a P+L. Entre eles:

- Prevenção à Poluição (P2);
- Eco eficiência;
- Minimização de Resíduos;
- Ecologia Industrial ou metabolismo Industrial.

Ainda segundo o CNTL (2003), a P+L é um programa que deve englobar todos os níveis da organização, abrangendo desde a alta administração até o chão de fábrica, além de incluir, também, todos os setores (como por exemplo: produção, manutenção, engenharia, compras e vendas) e representar uma ferramenta de alta efetividade na solução de problemas ambientais e de redução de custos organizacionais.

Para Rensi e Schenini (2006), a P+L apresenta diversos benefícios como: a melhor utilização de matérias-primas, dos recursos naturais como a água, e a diminuição na geração de resíduos, podendo contribuir no aumento de capacidade competitiva da organização através da redução de custos de produção e da melhoria do bem-estar da comunidade local e global.

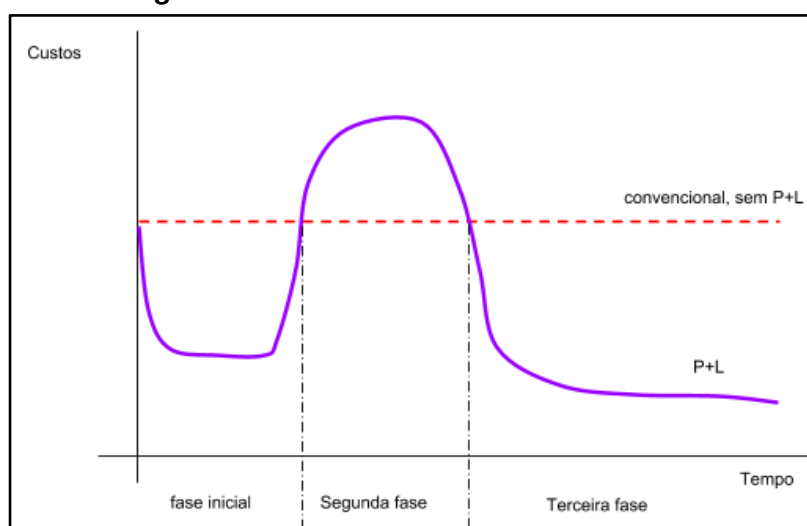
Segundo Furtado (2002), a adoção da P+L deve ser precedida do levantamento de dados operacionais da organização, nos processos candidatos à sofrerem melhorias. Indicadores de desempenho como consumo de água, energia elétrica, volume de emissão de efluentes e seus parâmetros de descarte (como, por exemplo, concentração de carga orgânica) devem ser utilizados para facilitar a identificação de oportunidades de melhoria e verificação da eficácia das ações tomadas.

Para o CNTL (2003), um dos preceitos básicos da P+L está em eliminar ou reduzir a utilização de materiais tóxicos e perigosos no processo produtivo, o que melhora as condições de trabalho dos funcionários envolvidos diretamente na produção, além de melhorar o produto para o consumidor. Este princípio acaba ajudando a elevar a qualidade e a responsabilidade social e ambiental que a empresa possui.

Ainda segundo o CNTL (2003), a minimização do uso de embalagens alivia a sociedade de mais um item para a reciclagem ou disposição final, além de poder proporcionar uma economia direta com a redução do insumo. Na metodologia, utiliza-se o mínimo possível de embalagens e de materiais que agredam o meio ambiente, preferencialmente optando-se por materiais com possibilidade de reaproveitamento ou reciclagem.

Os benefícios econômicos da P+L tornam-se um ponto chave na sua implantação. Segundo o CNTL (2003), a fase inicial de implantação caracteriza-se por medidas administrativas com pouco ou nenhum custo de implantação, e pode gerar redução de custos muito rapidamente. Na segunda fase, normalmente faz-se um investimento no processo produtivo e os custos acabam aumentando tanto pela necessidade de aporte de investimento quanto pela perturbação inicial natural das adequações implementadas no processo produtivo. Na terceira fase, após a realização do investimento em tecnologia, espera-se que os custos caiam com o incremento de economia que os novos processos tendem a proporcionar. A figura 1 apresenta um gráfico que elucida as fases da P+L e sua expectativa de benefícios econômicos.

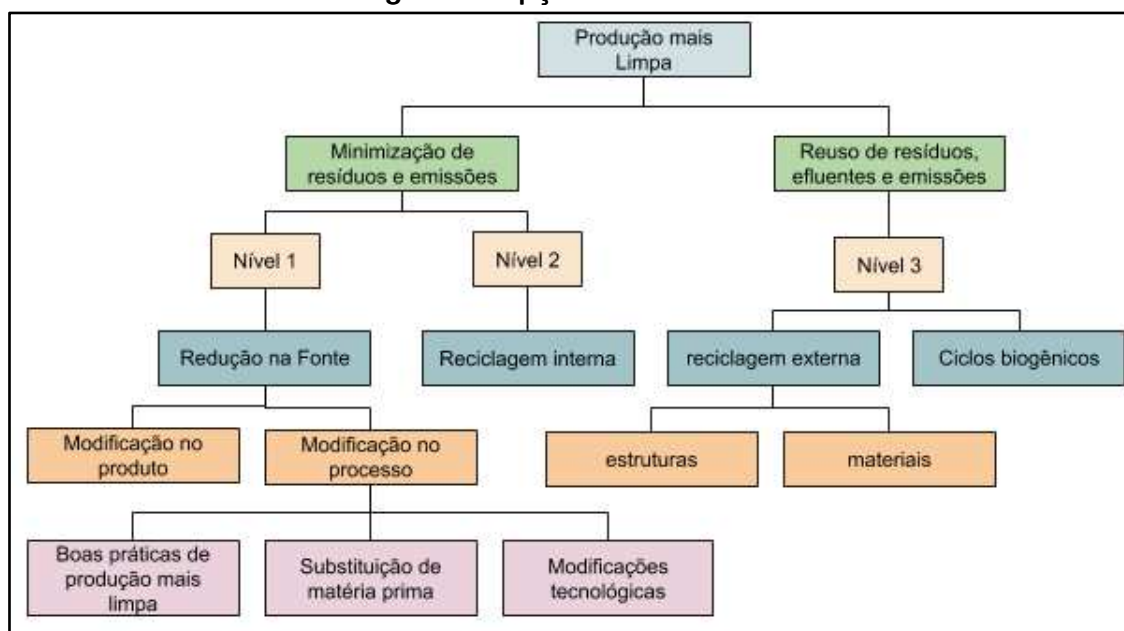
Figura 1: Viabilidade Econômica da P+L



Fonte: adaptado de CNTL, 2003

O CNTL (2003) apresenta uma proposta para aplicação da P+L que pode ser visualizada na figura 2, onde as ações diretas contemplam redução ou reuso dos resíduos, sendo o nível 1 prioritário nas ações. Ainda segundo o CNTL, a opção de mudança no produto, apesar de existir, é pouco utilizada, visto a dificuldade que representa, salvo se for durante a fase de concepção, onde ainda não se ganhou o mercado consumidor. A modificação do processo representa a ação mais comum e possibilita reais reduções de custo para a empresa, estando, inclusive, presente em outros programas de ganho de produtividade corporativa.

Figura 2: Opções da P+L



Fonte: CNTL, 2003

O CNTL (2003), apresenta uma proposta para implementação da P+L composta de 5 etapas:

- 1 – Sensibilização;
- 2 – Estudo do processo produtivo;
- 3 – Estudo das causas geradoras de resíduos;
- 4 – Avaliação das oportunidades;
- 5 – Elaboração do plano P+L.

A etapa 1 visa sensibilizar a alta administração sobre as vantagens de se implementar a P+L, assim como delimitar a sua implantação, considerando os fatores de dificuldade presentes. Nesta fase também se forma o “ecotime” que é a equipe responsável pela implantação e elaboração da P+L.

Na etapa 2, faz-se um estudo do processo produtivo dentro do escopo definido na etapa anterior, com o objetivo de conhecer e revisar o processo produtivo, qualificando e quantificando as gerações de resíduos de forma a eleger o foco da P+L.

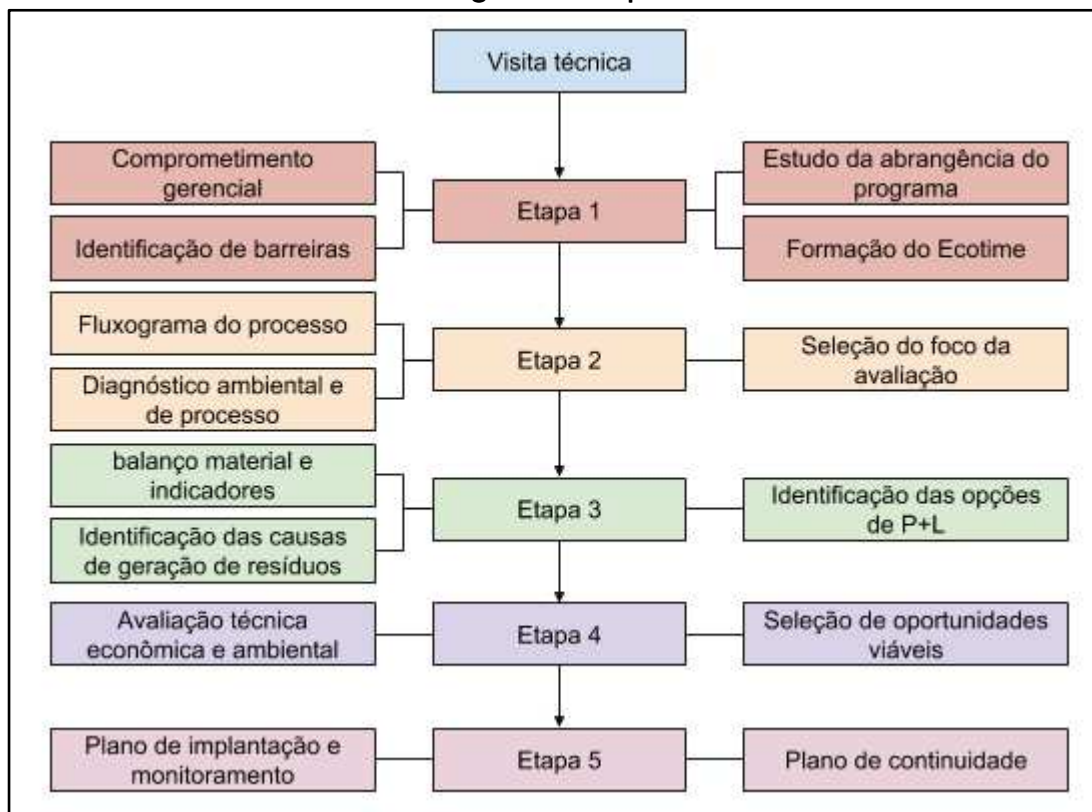
Na etapa 3, objetiva-se estudar e identificar as causas da geração de resíduos e eventuais indicadores de desempenho que se sejam úteis no desenvolvimento do programa e na escolha de soluções P+L.

Na etapa 4, ocorre a avaliação de viabilidade econômica e ambiental das possíveis opções de soluções P+L, identificadas anteriormente, e a conseqüente escolha das ações de maior viabilidade.

Na etapa 5, deve ser elaborado um plano de implantação das soluções propostas, com os critérios de avaliação de desempenho e manutenção, de forma a perpetuar e melhorar o plano de P+L, caracterizando um processo de melhoria contínua.

A figura 3 apresenta um diagrama com o resumo das etapas de implantação da P+L.

Figura 3: Etapas da P+L



Fonte: CNTL, 2003

2.1.1 - 3 R's - Redução, Reutilização e Reciclagem

Segundo Lustrosa (2010), a industrialização provocou mudanças radicais na sociedade humana pelo desenvolvimento tecnológico e econômico, o que culminou no uso intensivo de matérias-primas e de energia, acelerando o uso dos recursos e aumentando a emissão de rejeitos dos processos produtivos no meio ambiente em concentrações acima da sua capacidade regeneradora.

Para Medeiros et al. (2007), os principais fatores do aumento da poluição estão na industrialização da economia de escala e no crescimento populacional.

Para Peixoto, Campos e D'Agosto (2005), com o crescimento da população brasileira, principalmente nos grandes centros populacionais, e o acréscimo do consumo per capita, fez com que aumentasse o consumo de gêneros industrializados, provocando um expressivo aumento na utilização de embalagens descartáveis. Ainda segundo os autores, a cidade de São Paulo apresentava, em 1985, geração de resíduos per capita de 0,60 kg/dia/hab., e, em 2005 o índice já estava em 1 kg/dia/hab.. Segundo a AMLURB (2019), a cidade de São Paulo possui geração per capita na ordem de 1,64 kg/dia/hab..

Peixoto, Campos e D'Agosto (2005) fazem uma abordagem sobre a história da geração de resíduos no Brasil, tratando de fases pré-históricas até o início da industrialização, a qual os resíduos gerados eram quase totalmente orgânicos. A partir da industrialização houve um incremento muito forte de resíduos não orgânicos, apesar das formas de destinações continuarem as mesmas.

Para Peixoto, Campos e D'Agosto (2005) o princípio dos 3R's baseia-se em reduzir, reutilizar e reciclar, objetivando a diminuição do volume de lixo gerado através da redução do nível de consumo, da utilização de materiais e matérias-primas recicladas e/ ou com a geração de produtos que permitam a reciclagem e a reutilização dos materiais, como por exemplo, o aumento da vida útil dos produtos.

Segundo a Eco-Unifesp (2018), o princípio dos 3R's foi apresentado na conferência mundial das Nações Unidas sobre o meio ambiente em 1992, através de um plano denominado Agenda 21. Segundo o que foi discutido, o princípio dos 3R's possui uma hierarquia que segue o preceito de que se gera menor impacto ambiental evitando-se a geração de lixo do que a reciclagem após o descarte.

Para Vilhena e Politi (2005), reutilizar é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo e reciclar é o processo de reaproveitamento de um resíduo após ter sido submetido à transformação. Para os autores, não se deve estabelecer uma hierarquia rígida entre reutilização e reciclagem. Para isso, deve-se avaliar diversas variáveis como tipo de material à ser destinado, características da região geográfica e culturais, fatores logísticos, entre outros.

Outra versão está no programa dos 4R's apresentado pelo Instituto Estre (2014): Repensar, Reduzir, Reutilizar e Reciclar. Segundo este programa, não é possível dar continuidade ao nível de crescimento de consumo atual sem que ocorra consequências desastrosas à sociedade.

Ainda segundo o Instituto Estre (2014):

Reduzir: significa diminuir a quantidade de resíduos descartados, diminuindo a coleta, o tratamento e as áreas destinadas para construção de aterros sanitários, reduzindo o uso de energia e recursos econômicos. Não se limita apenas no consumo, mas também na diminuição da necessidade de se produzir novas mercadorias, poupando recursos naturais e minimizando a emissão de gases.

Reutilizar: consiste no incentivo ao aproveitamento dos produtos. Recuperar eletrônicos e doar objetos em desuso podem ajudar no prolongamento do tempo de vida útil, diminuindo a necessidade da produção de novos produtos e ajudando na diminuição dos níveis de descarte.

Reciclar: quando não são possíveis ou suficientes a redução e a reutilização, há a possibilidade da diminuição de materiais nos aterros e o auxílio na diminuição da utilização de recursos naturais, economizando energia e reduzindo lançamento de gases poluentes.

Repensar: os 3 R's tradicionais (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) não possuem capacidade transformadora na sociedade, podendo agir com efeito contrário, dando a falsa impressão de que o consumo pode ocorrer indiscriminadamente, pois, em tese, estes R's seriam suficientes para minimizar os danos ao meio ambiente. Repensar quanto ao uso, levar em consideração os fatores ambientais na hora de se fazer a escolha, de se tomar a decisão é de fundamental importância no programa.

Layrargues (2016) apresenta que a Redução e a Reutilização são as ações que deveriam nortear as políticas públicas por se tratarem de medidas efetivas que menos causam impacto no meio ambiente. No entanto, a preferência do poder público está na reciclagem. O autor estabelece uma relação muito forte entre a reciclagem e o incentivo ao consumo, daí o predomínio de ações para a reciclagem,

o que ajuda amenizar, mas não resolve os problemas ambientais.

2.1.2 – Avaliação do ciclo de vida dos produtos

Para Vilhena e Politi (2005), a Análise do Ciclo de vida é uma ferramenta ambiental que objetiva a identificação e comparação de impactos ambientais do “berço ao túmulo”, analisando cada estágio do ciclo de vida de um produto.

Segundo Chehebe (2002), a Análise do Ciclo de Vida surgiu de forma embrionária no período entre o final da década de 60 e o início da década de 80 devido à grande alta no preço do barril de petróleo e é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto, compreendendo as etapas de extração dos recursos naturais que entram no processo produtivo até a disposição final do produto. Tratando-se de uma poderosa ferramenta para auxílio nas tomadas de decisões, na seleção de indicadores ambientais, nos projetos de produtos e no planejamento estratégico.

Segundo a ABNT (2014), o estudo da Análise do Ciclo de Vida de um produto, ou serviço, abrange quatro fases:

- Definição de objetivo e escopo;
- Análise de inventário;
- Avaliação de impactos; e
- Interpretação.

Chehebe (2002) estabelece uma relação entre a ferramenta (Análise do Ciclo de Vida) e o balanço contábil, onde o total que entra no sistema de estudo deve ser igual ao que sai. Segundo o autor, é extremamente recomendável fazer uma análise seletiva do ciclo de vida, através de uma coleta de dados grosseira, enfatizando a integridade dos dados e não a precisão e qualidade. As conclusões preliminares podem ajudar na investigação completa que irá suceder. Os dados investigados podem ser organizados como:

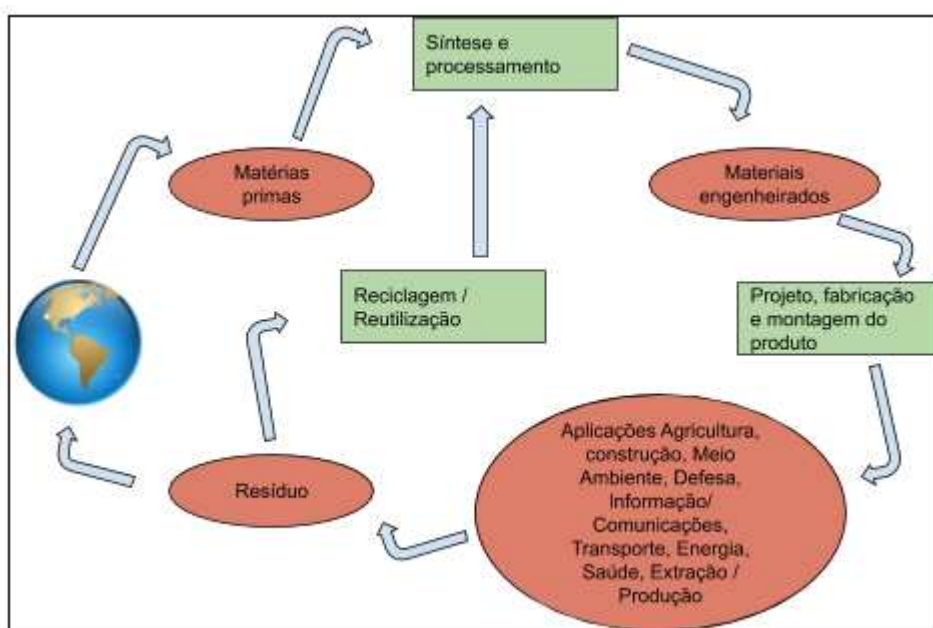
- Energia, matérias-primas, materiais auxiliares, outras entradas físicas;
- Produtos;
- Emissões atmosféricas, para o solo, para a água e outras.

O autor complementa que para a decisão das variáveis de estudo podem se basear em balanço de massa, balanço energético e importância para o meio ambiente e que, na maioria das vezes, o resultado obtido no inventário já possibilita avaliação de impacto, porém quando é encontrada grande diferença ou detectam-se relações complexas, faz-se necessário o uso da metodologia de avaliação de impacto, através da classificação, caracterização e atribuição de pesos.

Para Callister (2014), as decisões tomadas na engenharia de materiais têm impacto sobre o consumo de matéria-prima e energia, podendo corroborar na contaminação das águas e do ar. Estas decisões podem afetar a saúde humana, o clima mundial e a capacidade dos consumidores poderem reciclar ou descartar adequadamente os produtos consumidos. O autor acrescenta que a sustentabilidade depende, de certa forma, de como a comunidade mundial de engenharia atua em suas ideologias, alinhadas ao pensamento ambiental e socialmente correto.

Segundo a ABNT (2014), a Análise do Ciclo de Vida contempla os aspectos ambientais e seus impactos potenciais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto do berço ao túmulo. A figura 4 representa o conceito do ciclo de vida dos materiais contemplando a extração dos recursos naturais, transformação, projeto e fabricação, utilização e disposição final.

Figura 4 - Ciclo de vida dos materiais

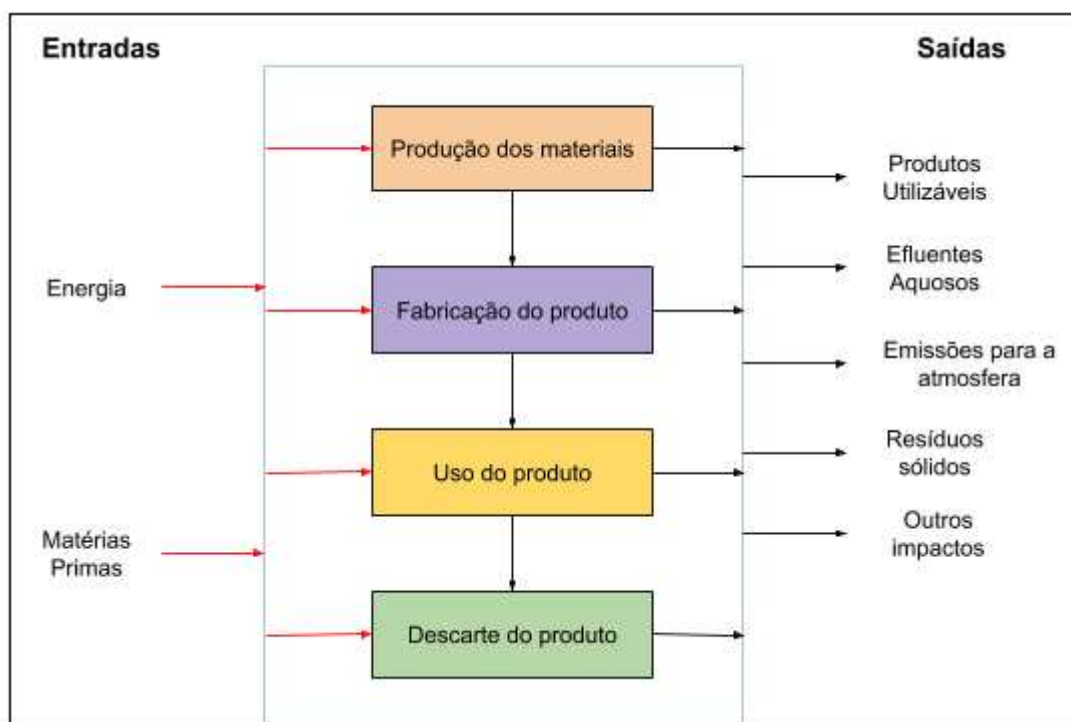


Fonte: Adaptado de Callister (2014)

Uma das primeiras ações à serem tomadas para que se tenham projetos verdes, ou sustentáveis, é através da quantificação das várias entradas e saídas para cada uma das fases do ciclo de vida do produto.

Callister (2014) propõem a esquematização de inventários de entradas e saídas conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5 - Inventário de Entradas e Saídas



Fonte: Adaptado de Callister (2014)

O diagrama da figura 5 possibilita a elaboração de uma estratégia para avaliação das entradas e saídas dos processos produtivos, facilitando a identificação de oportunidades de melhorias.

2.1.3 - Aplicação da Produção Mais Limpa em indústria de alimentos.

Lima e Walter (2017) fazem um estudo e avaliação sobre os resultados da implementação da metodologia Produção Mais Limpa em uma cervejaria de grande porte localizada na Paraíba. No estudo, os autores identificaram diversas ações relacionadas à P+L como demonstrado no quadro 1.

Quadro 1 – P+L na Indústria de Cerveja

Situação problema	Prática Ambiental	Nível 1 da P+L	Benefícios
Perda de água no enchimento das garrafas pelas máquinas enchedoras	Sistema que permite a recirculação da água extraída e evita a perda de água	Redução na fonte	Minimização da perda de água durante o processo de enchimento das garrafas
Desperdício de água durante o processo de fabricação da cerveja	Redução da quantidade de água utilizada por cada litro de cerveja produzido	Redução na fonte	Aumento da capacidade produtiva e redução do uso da água
Desperdício de energia (vapor e eletricidade) na fervura do mosto	Produção simultânea de energia elétrica e vapor (cogeração) a partir do gás natural	Redução na fonte	Utilização eficiente do gás natural; Minimização do consumo de energia
Produtos de difícil reciclabilidade; Produção de embalagens que geram resíduos	Embalagem com 100% de resina reciclável; Garrafas mais cinturadas, tampas e rótulos menores	Modificação do produto	Utilização de recursos recicláveis; Minimização de recursos e resíduos na produção de embalagens
Emissão de vapores durante a fervura	Vapor recuperado no pré-aquecimento do mosto	Modificação do processo	Redução do consumo de energia
Emissões de CO ₂ na atmosfera por frotas de caminhões distribuidores	Compartilhamento da frota com empresas parceiras; Análise visual da poluição gerada pelos caminhões	Modificação do processo	Redução do uso de óleo diesel e redução da emissão de CO ₂
Desperdício de garrafas	Lavagem de garrafas com solução alcalina, detergente e água quente	Modificação do processo	Desinfecção e limpeza das garrafas de cervejas retornáveis
Vazamento de terra infusória e outras substâncias (álcool, óleo, soda cáustica, etanol)	Medidores de vazão e válvulas de controle nos equipamentos	Modificação de tecnologia	Evitar a dispersão de substâncias; Prevenir a poluição repentina
Emissões de gases de combustão (CO, CO ₂) oriundas da caldeira de produção de vapor	Instalação de caldeiras de biomassa	Modificação de tecnologia	Uso de fontes renováveis; Aumento da eficiência energética
Ineficiência dos refrigeradores no resfriamento do mosto, na fermentação e na maturação	Substituição por refrigeradores 100% ecológicos	Modificação de tecnologia	Maior rendimento de energia
Uso desnecessário de água tratada para limpeza de equipamentos na Estação de Tratamento de Efluentes	Utilização de efluente tratado para limpeza dos equipamentos, em substituição da água	Substituição de matérias-primas	Reuso de efluente tratado; Minimização do consumo de água
Elevada demanda de energia na produção do malte de cevada.	Complementação do mosto com adjuntos (milho, arroz)	Substituição de matérias-primas	Menor energia requerida na produção da cerveja; Redução de custos com matérias-primas

Fonte: Lima e Walter (2017)

O estudo possibilitou a constatação de benefícios ambientais, econômicos e sociais obtidos com a implementação da P+L. Os ganhos mais expressivos foram: redução de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos, redução de custos operacionais e o aumento da qualidade e segurança dos colaboradores.

2.2 - Indústria da Cerveja

Silva (2005) considera que a cerveja é uma bebida que possui dióxido de carbono em sua composição, possui baixo teor alcoólico e é preparada através da fermentação do malte de cevada, com incremento de lúpulo (flor seca, pastilha ou em extrato) e água de boa qualidade, podendo ser incorporado outras matérias-primas como arroz, trigo ou milho.

Brasil (2009), através do Decreto Federal 6871/09, apresenta que a cerveja é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, ou extrato, proveniente do malte de cevada ou de outros cereais, e água potável, por ação da levedura e com a adição de lúpulo, ou extrato. O malte de cevada pode ser parcialmente substituído por adjuntos cervejeiros (cereais de consumo humano, amido e açúcares de origem vegetal) até o percentual de 45% em relação ao extrato primitivo, sendo que a incorporação de açúcar possui limite de até 10%, com exceção da cerveja escura (que pode receber até 50% em peso).

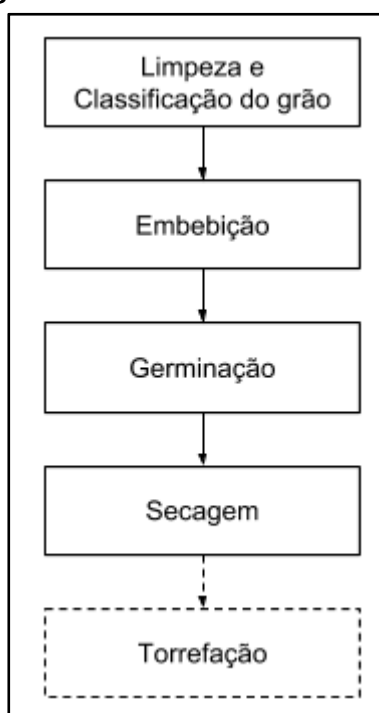
Rebelo (2009) apresenta como ingredientes para produção da cerveja: água (tratada, livre de contaminantes tais como dureza elevada e cloração e com pH em 5,0), malte de cevada, lúpulo ou extrato de lúpulo e levedura cervejeira, podendo ainda haver a introdução do Grits de milho e açúcares. Ainda segundo o autor, o processo de malteamento consiste na ativação de grãos como trigo e cevada através de germinação forçada.

Para Santos e Ribeiro (2005), o malteamento normalmente é realizado em instalações específicas para este fim, chamadas maltarias e consiste nas etapas de limpeza (remoção de corpos estranhos) e seleção dos grãos conforme granulação, embebição em água para início da germinação do grão, germinação em ambiente controlado e secagem do malte para inibição do processo de germinação, sendo que em alguns processos o malte pode ser ainda torrado.

Maltear (2018) indica que a imersão consiste em fornecer água e oxigênio em períodos alternativos para os grãos de forma a poder controlar a taxa de germinação.

A figura 6 apresenta um diagrama de funcionamento de uma maltaria.

Figura 6 - Processo de Malteação



Fonte: o autor

Segundo Rebelo (2009), os adjuntos são carboidratos que possuem características para complementar ou substituir parcialmente o malte utilizado, normalmente de Cevada, podendo ser utilizado, entre outros, milho, arroz ou trigo. O lúpulo, que na realidade é uma flor, assume diversas funções (entre elas a de conservante do mosto, atuando também, nos ajustes de odor e amargor da cerveja). A utilização de açúcares acelera o processo de fermentação e ajuda no controle da cor da cerveja. A levedura cervejeira consiste em fungos responsáveis pela fermentação, sendo as mais tradicionais a *Sacharomy cescerevisae* e *Sacharomy cescalsbergensis*.

Para Brasil (2009), o mosto cervejeiro lupulado é uma solução em água potável, de carboidratos, proteínas, glicídios e sais minerais, resultantes da degradação enzimática dos componentes da matéria-prima que compõe o mosto, fervido com os cones da inflorescência do *Humulus lupulus* (lúpulo) ou com seu

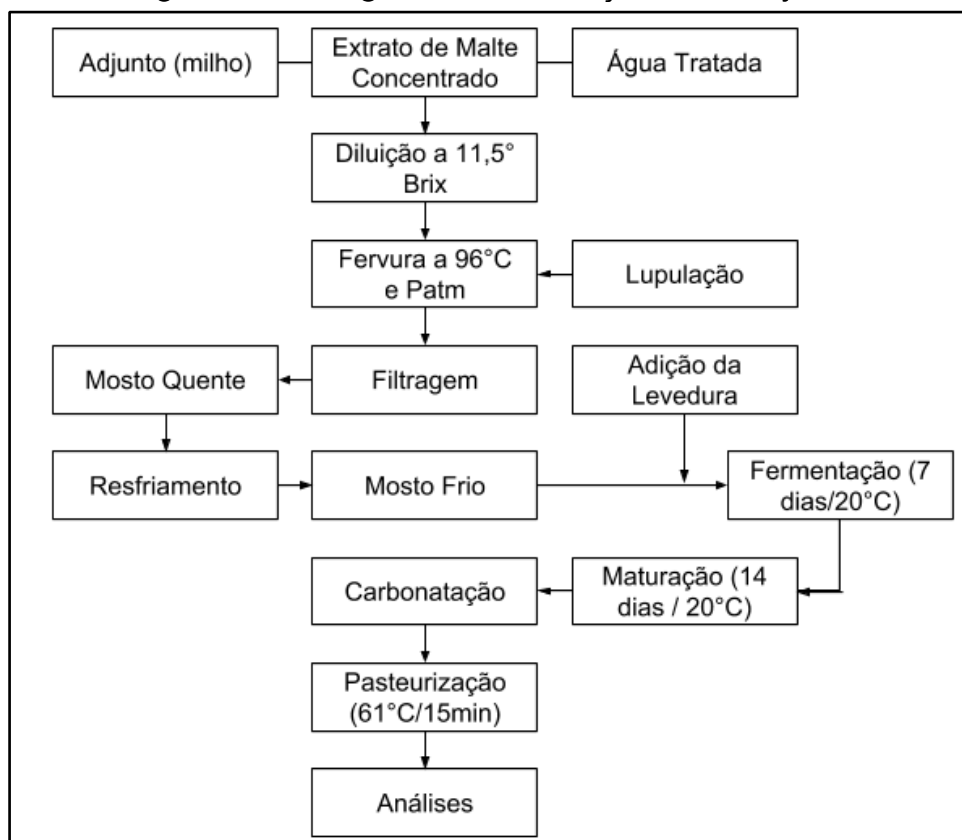
extrato, natural ou industrializado. Mega et al (2011), apresenta que os adjuntos substitutos parciais da cevada podem ser arroz, trigo, centeio, milho, aveia e sorgo.

Santos e Ribeiro (2005) relatam que o mosto é uma solução aquosa de açúcares, fundamental para alimentar os microrganismos alcoólicos no processo de fermentação, sendo obtido através da maceração do malte levemente moído (apenas a quebra da casca e exposição do conteúdo interno) com a adição de adjuntos e água, submetidos à fervura para ativação enzimática. Ao final da fervura, o mosto é filtrado através de peneiras e da própria casca do malte na tina de filtragem. O mosto filtrado é novamente fervido, sendo adicionado aditivos e clarificado em processo por decantação centrífuga normalmente conhecido como “Whirlpool”. Clarificado, o mosto é resfriado em trocadores de calor.

Brasil (2009) classifica as cervejas quanto ao extrato primitivo (leve, comum, extra ou forte), quanto a cor (clara, escura ou colorida), quanto ao teor alcoólico (com ou sem álcool), quanto a proporção de malte de cevada (cerveja, cerveja puro malte e cerveja com o nome do vegetal predominante) e quanto a fermentação (baixa ou alta). Essas características estabelecem o tipo da cerveja: Pilsen, Export, Lager, Dortmunder, Munchen, Bock, Malzbier, Ale, Stout, Porter, Weissbier, Alt ou qualquer outra denominação internacional.

A figura 7 apresenta um diagrama simplificado do processo de fabricação de cerveja proposto por Rebello (2009). No modelo, é utilizado o extrato de malte concentrado, aditivado com adjuntos, como o milho, diluídos em água tratada para processos cervejeiros, sob aquecimento controlado, a uma concentração de 11,5° Brix. Na sequência, o produto é submetido a fervura com a aditivação de lúpulo, passando por um processo de filtragem e dando origem ao mosto que, após resfriado, recebe a aditivação de levedura. Com a levedura adicionada o mosto é submetido a um período de fermentação e maturação. Ao final, é corrigido a carbonatação, pasteurizado em banho de água quente e submetido a análises físico-químicas.

Figura 7 – Fluxograma de fabricação de cerveja



Adaptado de Rebello (2009)

Contudo, ainda existem diversos outros aditivos normalmente empregados na fabricação da cerveja, principalmente no Brasil, onde a legislação não impede o uso. Entre os aditivos estão: corante caramelo, estabilizante de espuma, estabilizante coloidal, antioxidante, etc.

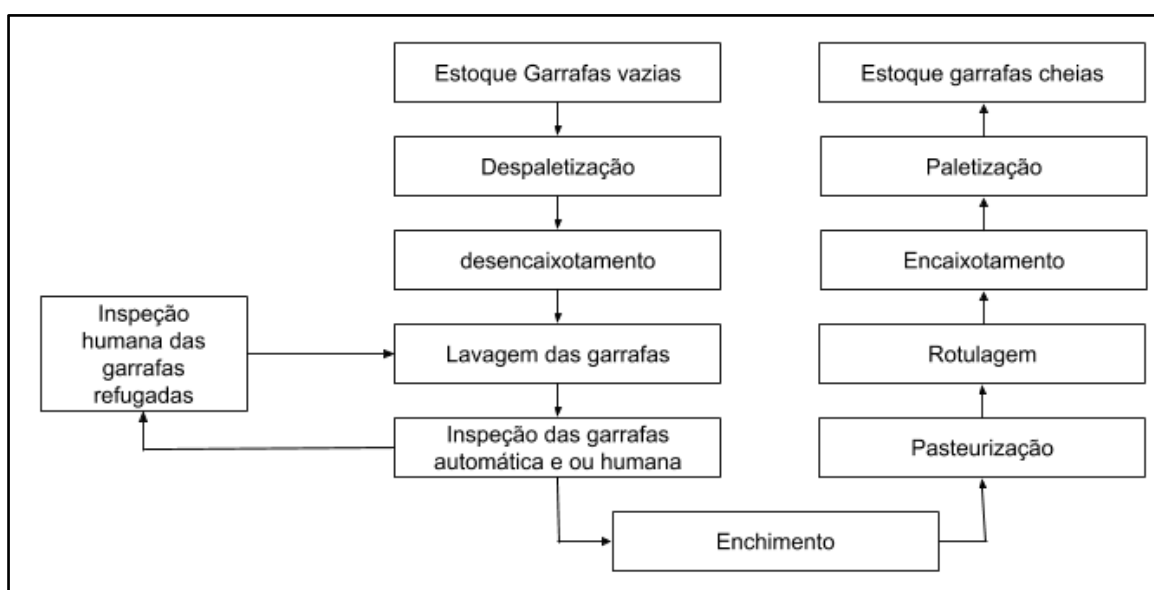
Santos e Ribeiro (2005) comentam que o processo de envase é de maior complexidade e de maior risco para o produto (contaminação) e para os funcionários (risco de acidentes) e normalmente é representado em três formas básicas: barril (chope), lata e garrafa.

2.2.1 - Envase em garrafas

Atualmente, as garrafas de vidro de 600 mL retornáveis dominam o mercado e representam a maior fonte de receita para a indústria da cerveja. No entanto, existem outras embalagens de vidro, retornáveis ou não, em diferentes tamanhos. Algumas experiências têm sido feitas com garrafas PET (politereftalato de etileno), mas ainda com volume inexpressivo para o mercado.

A figura 8 apresenta o fluxograma típico de uma linha de envase de cerveja utilizando vasilhames retornáveis de vidro. A disposição do diagrama corresponde ao V-Graph, ou gráfico em V, proposto por Härte (1997), contemplando as velocidades dos equipamentos para fins de dimensionamento de capacidade e eficiência produtiva. Os equipamentos decrescem de velocidade da despaletização até a enchedora e crescem na velocidade da enchedora até a paletização. Neste conceito, a enchedora é o gargalo de linha, pois apresenta a menor velocidade do conjunto, sendo normalmente utilizada na métrica de eficiência global da linha produtiva.

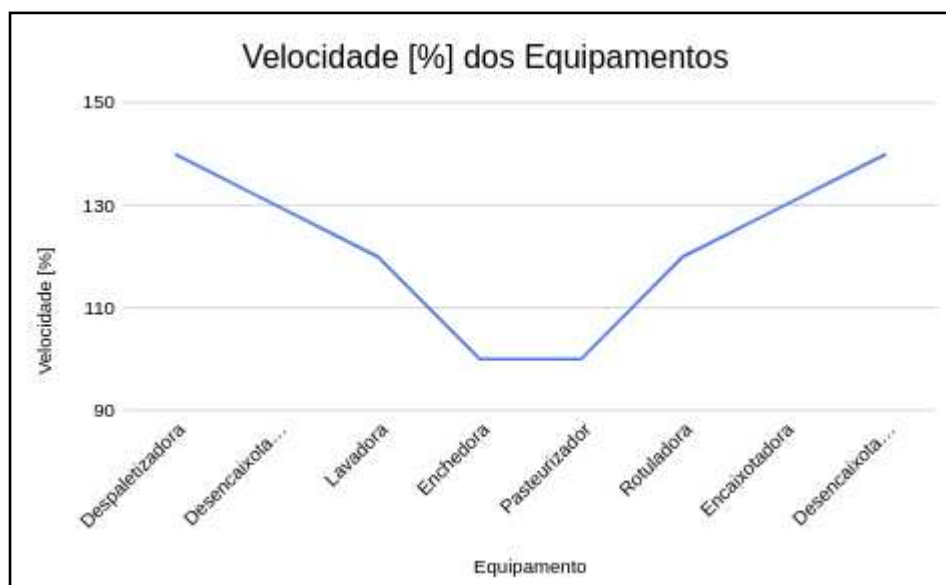
Figura 8 - Fluxograma de envase de garrafas retornáveis



Fonte: Adaptado de Härte (1997)

No estudo de Härte (1997), os níveis horizontais da figura 9 correspondem ao gráfico V e apresentam equipamentos que normalmente operam na mesma velocidade. Como exemplo, a despaletizadora retira as caixas de garrafas, ou garrafeiras, dos paletes, entregando-os à linha de envase. Por outro lado, os paletes vazios não se acumulam em estoque, mas abastecem a paletizadora, que no mesmo momento está recebendo as caixas com produto pronto da máquina antecessora. O mesmo acontece com a desencaixotadora e a encaixotadora, só que neste caso os insumos compartilhados são as caixas plásticas, ou garrafeiras. A figura 9 representa a proposta do autor.

Figura 9 – Distribuição das velocidades no envase



Fonte: Adaptado de Härte (1997)

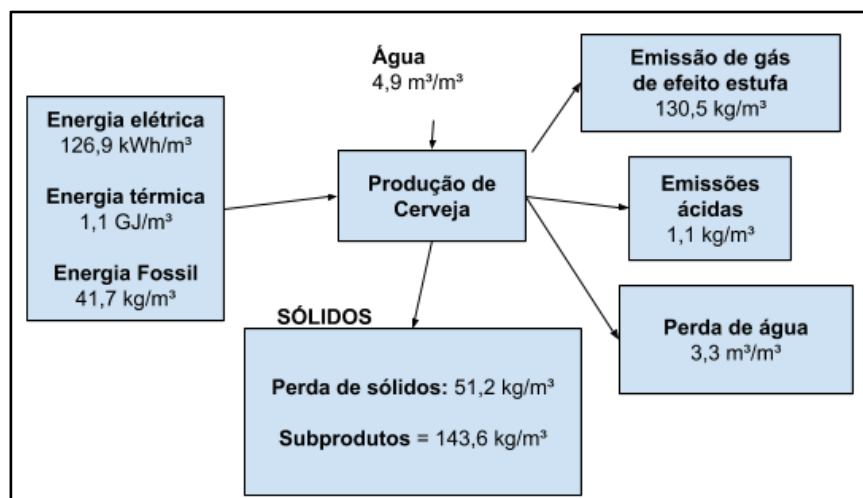
Santos e Ribeiro (2005) relatam que a lavadora de garrafas é formada por câmaras com solução alcalina (soda) e detergente, além do uso de aquecimento, sendo o objetivo primário desinfetar os vasilhames e retirar os rótulos previamente existentes. Após a lavagem, as garrafas são direcionadas para um sistema de inspeção de limpeza, normalmente automatizado com câmeras de alta resolução ou com posto de trabalho manual onde funcionários avaliam o nível de limpeza garrafa por garrafa. Este posto de trabalho, em alguns casos, é localizado após a enchedora (para que se aproveite a mão de obra para inspeção de nível, quando for o caso).

Segundo Santos e Ribeiro (2005), as garrafas refugadas na inspeção visual (devido ao nível de sujidade), voltam à lavadora para uma nova limpeza. Os autores acrescentam que a fase de limpeza das garrafas caracteriza-se pelo consumo de muita água e pela liberação de resíduos líquidos que contém plásticos, celulose e cacos de vidro.

2.2.2 - Resíduos gerados na produção de cerveja

Olajire (2012) apresenta um balanço de massa no processo cervejeiro contemplando as entradas de energia e água e as saídas nas principais formas de perdas (emissão gasosa e ácida, água e sólidos), como mostrado na figura 10.

Figura 10 - Balanço de massa em processos cervejeiros



Fonte: Adaptado de Olajire (2012)

Ainda o mesmo autor faz, também, uma abordagem quanto aos principais resíduos gerados na produção da cerveja: água, bagaço de malte, trub e levedura, onde a água é a mais representativa (com cerca de 90 a 95% da massa total) e possui participação praticamente em todas as etapas do processo produtivo, quer seja por matéria-prima, quer por insumo. Sobre o indicador usualmente empregue, o consumo médio de água nas cervejarias situa-se entre 4 e 10 m³/m³ de cerveja produzida, mas este índice depende substancialmente das características dos equipamentos e processos produtivos. As lavadoras de vasilhames retornáveis e enxaguadoras, utilizadas nos vasilhames descartáveis, representam as fontes de maiores perdas - em função da evaporação nos processos de aquecimento e nos procedimentos de limpeza da fábrica.

Para Mussatto et al.(2008), o bagaço de malte, ou resíduo úmido de cerveja, representa cerca de 85% dos subprodutos gerados no processo produtivo da cerveja e possui excelentes características para reaproveitamento como matéria-prima para a produção de xilitol, ácido láctico e compostos fenólicos. Para Santos e Ribeiro (2005) o bagaço de malte apresenta alto valor nutritivo, sendo comumente enviado a outras empresas para produção de ração animal.

Segundo Santos e Ribeiro (2005), a levedura é retirada ao final do processo de fermentação junto ao processo de filtragem, podendo ser reutilizada em novos processos de inoculação para outras bateladas produtivas. A multiplicação da

levedura se dá de forma rápida, sendo necessária a remoção do excesso após cada batelada. Ainda segundo os autores, a levedura possui alta carga orgânica (120.000 a 140.000 mg DBO/l) e grande valor nutricional, podendo ser destinada à indústria de alimentos, além da possibilidade de produção de ácidos orgânicos.

Para Santos e Ribeiro (2005), trub é o resíduo formado após a filtração, ou clarificação, sendo que o trub grosso é aquele extraído na primeira filtração após o cozimento, composto por gordura vegetal e proteínas coaguladas.

O resíduo de levedura, ou trub fino, é resto obtido da segunda filtração, no filtro de terra diatomácea ou equipamento equivalente, sendo formado por compostos de gordura vegetal, terra diatomácea (quando for o caso) e levedura.

Na figura 11 é apresentado um fluxograma do processo de produção típico da cerveja, assim como os resíduos gerados.

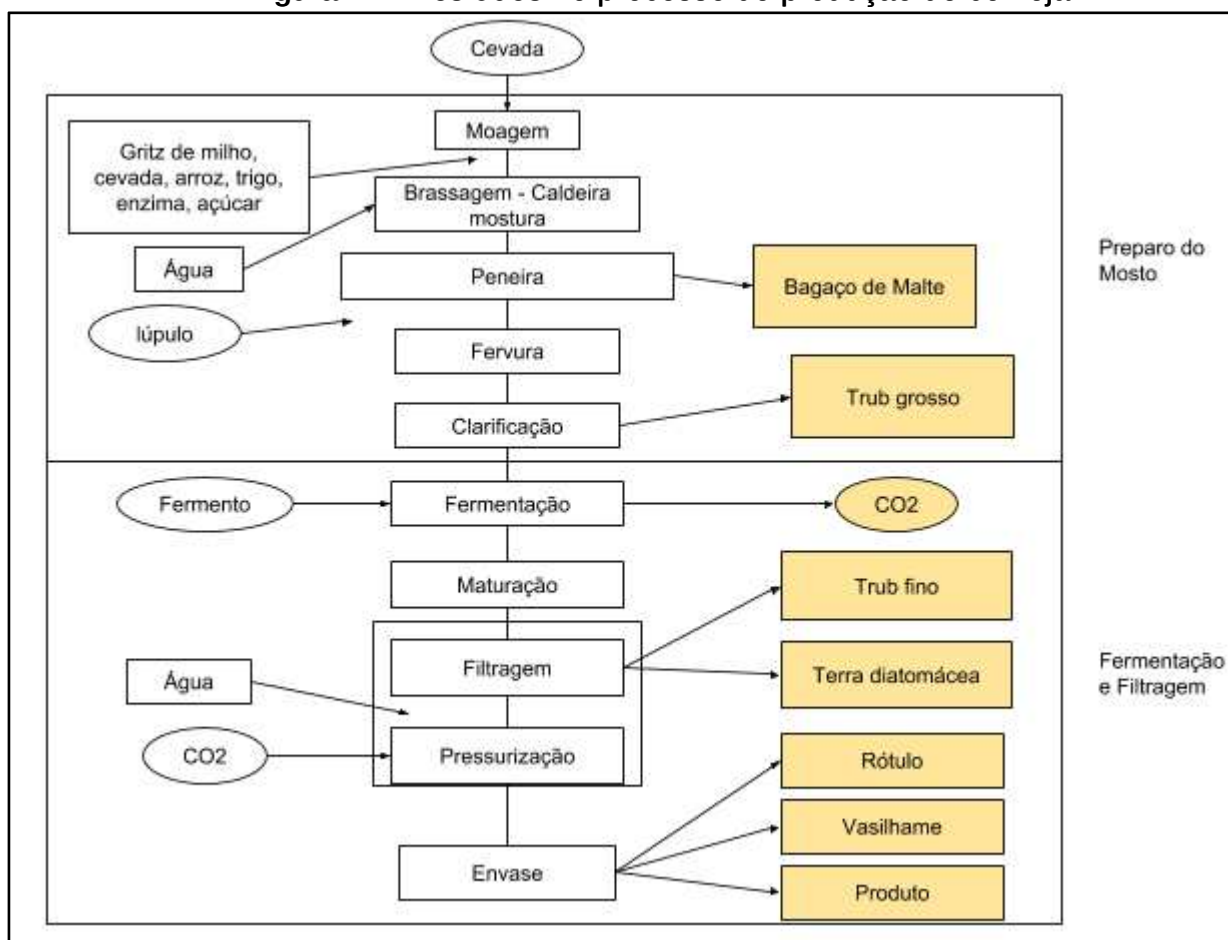
Após a finalização da curva de aquecimento na caldeira ou tina de mostura, o mosto é peneirado com a ajuda do próprio bagaço de malte e, conseqüentemente, esta etapa apresenta o próprio bagaço como resíduo.

No processo de clarificação, após a fervura e normalmente por centrifugação simples há a sedimentação e retirada do resíduo de trub ou trub grosso. Durante a fase de fermentação ocorre a liberação de CO₂ para a atmosfera.

Durante a filtragem ocorre a liberação de dois resíduos, a levedura de cerveja, ou trub fino e o elemento filtrante terra diatomácea.

No processo de envase, os resíduos são os rótulos das garrafas vazias reutilizadas, os vidros provenientes da quebra de vasilhames e a cerveja devido eventuais vazamentos de produto.

Figura 11 - Resíduos no processo de produção de cerveja



Fonte: Adaptado de Olajire (2012) e Santos e Ribeiro (2005)

3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 – Caracterização da pesquisa

Quanto ao modo de abordagem, a pesquisa classifica-se como qualitativa e quantitativa. Quanto ao objetivo da pesquisa, é um estudo exploratório e descritivo que utilizará como procedimento a revisão bibliográfica e a análise do processo produtivo em uma microcervejaria na região de Campinas, no estado de São Paulo.

A empresa escolhida é uma indústria de cerveja de pequeno porte localizada em uma posição geográfica estrategicamente favorável ao escoamento da produção em função da proximidade às principais vias de acesso da região metropolitana e conexão aos grandes centros de consumo do Estado. É uma empresa nacional, de capital fechado, que iniciou suas atividades no início de 2016, registrando crescimento superior a 100% no seu primeiro ano de atividade. Atualmente, a empresa conta com um portfólio de 10 tipos de cervejas, todas classificadas como artesanais, totalizando uma produção média de 50.000 litros/mês.

A fábrica está instalada em uma edificação com cerca de 800 m², possuindo 14 tanques de cerveja dotados de sistema de refrigeração, além de equipamentos específicos para envase de barris e garrafas. Possui também uma estrutura de venda e marketing localizada em outro endereço, na mesma cidade.

Para operacionalizar o negócio, a empresa conta com, além dos 2 proprietários que colaboram individualmente das áreas de produção, administração e vendas e marketing, 12 funcionários próprios distribuídos nas atividades de produção e vendas.

A pesquisa estendeu-se, também, a uma propriedade rural, localizada também na cidade de Campinas/SP, junto à rodovia Lix da Cunha (antiga estrada para Indaiatuba/SP). A propriedade é produtora de leite e derivados (queijos e doce de leite) e utiliza os resíduos de bagaço de malte e levedura cervejeira no complemento da alimentação dos seus bovinos.

3.2 - Coleta dos dados

A coleta de dados para este trabalho foi feita em duas formas: revisão literária e estudo de caso em campo.

Na revisão literária foram consultados artigos, dissertações, teses e obras literárias que apresentavam os processos produtivos de cerveja, os resíduos gerados e as possibilidades e propostas de reutilização de alguns desses resíduos.

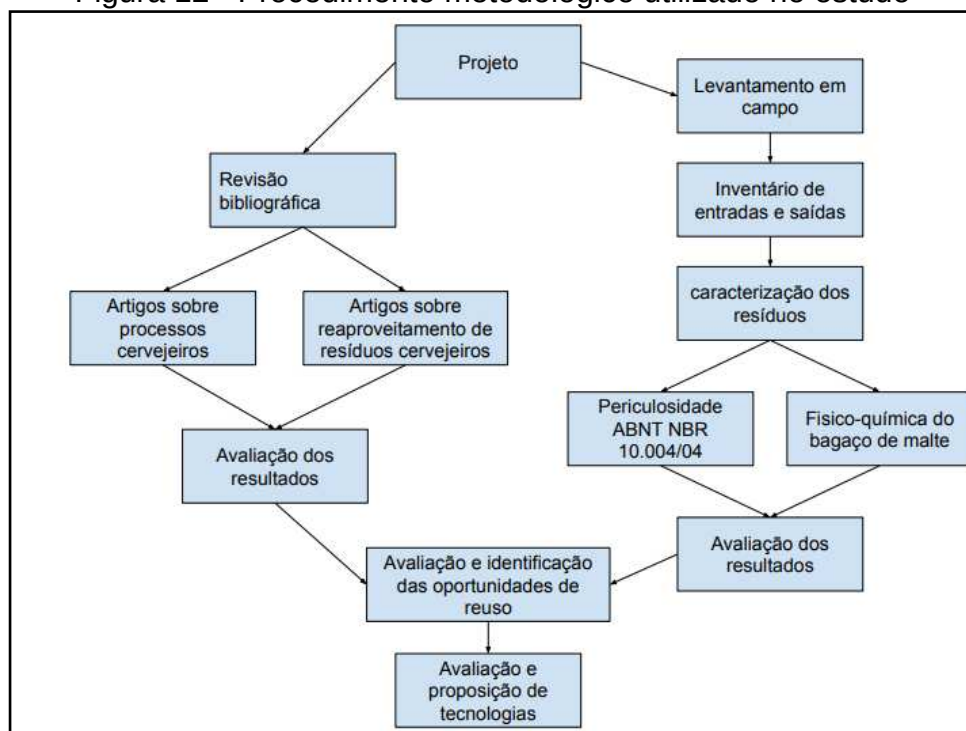
O estudo de caso consistiu no levantamento *in loco* do processo produtivo da cervejaria e análise das práticas e metodologias utilizadas na empresa, objetivando a obtenção dos inventários das entradas e saídas de materiais, resíduos e energia e a verificação *in loco* na propriedade rural para observação da destinação e manipulação dos principais resíduos cervejeiros (bagaço de malte e levedura). Após a realização do inventário, os dados e observações foram analisados e confrontados com as propostas literárias visando a identificação de oportunidades para minimização na geração de resíduos e energia ou reaproveitamento conforme a metodologia produção mais limpa.

Algumas análises físico-químicas foram necessárias e estavam previstas para serem realizadas a fim de verificar e caracterizar quimicamente os resíduos do processo produtivo de cerveja – em especial, turbidez, cor, Sódio (Na), Cálcio (Ca), Carbono Orgânico Total (TOC) e Carbono Inorgânico (IC) – na amostra de bagaço de malte, principal resíduo gerado na produção de cerveja.

Por fim, foi identificado, analisado e proposto tecnologias para possibilitar ou facilitar o reaproveitamento dos resíduos cervejeiros, com vistas à adoção de práticas buscando a Produção Mais Limpa, com base em estudos prévios de Lima e Walter (2017), CNTL (2003) e Medeiros et al. (2007).

A figura 12 apresenta um fluxograma com o procedimento metodológico utilizado na pesquisa.

Figura 12 - Procedimento metodológico utilizado no estudo

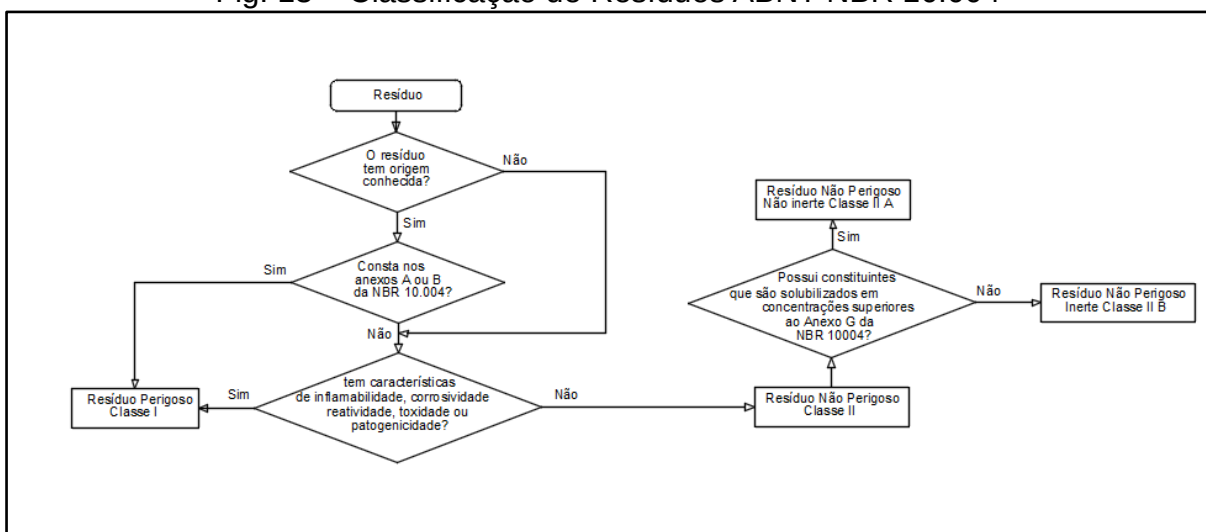


Fonte: Do Autor (2019)

3.3- Metodologia para caracterização dos resíduos

A caracterização dos resíduos foi feita seguindo duas proposições: a classificação dos resíduos sólidos segundo a ABNT NBR10.004:2004 e ensaio físico-químico para o resíduo do bagaço de malte.

Fig. 13 – Classificação de Resíduos ABNT NBR 10.004



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10.004 (2004)

A classificação ABNT consiste em identificar os resíduos gerados na área produtiva de cerveja e, seguindo o fluxograma apresentado na figura 13, classificar dentre as três classes existentes (I, IIA ou IIB).

A classificação através do ensaio físico-químico consiste em ensaiar a amostra de bagaço de malte úmido.

Os parâmetros avaliados seguiram o proposto por Dubtil et al. (2013) para a avaliação da qualidade de efluentes (resíduos) que são: Turbidez (Digimed DM TU), Carbono Orgânico Total - TOC e Carbono Inorgânico - IC (Shimadzu TOC-VCPH), Cor (DM-50 Digimed - Co-Pt), Ca^{2+} , K^{+} e Na^{+} (Digimed DM62).

Foram coletados 100 mL do efluente para realização da análise de turbidez, que foi acondicionado em Becker de vidro para posterior medição. Para realizar a medição foi utilizado equipamento Turbidímetro Digimed DM TU, o qual é constituído por uma fonte de iluminação, cubeta de amostra e fotodetector.

A análise de coloração foi feita através da coleta de 10 mL de efluente, acondicionado em recipiente de vidro, para posterior medição. Para realizar a medição foi utilizado o colorímetro, modelo DM-50 também da Digimed.

Já para as análises o carbono orgânico total, foi utilizado o equipamento (TOC Analyzer) da marca Shimadzu®, modelo TOC-VCSH® para as análises das alíquotas de efluente. O TOC funciona através de uma combustão seguida de detecção por infravermelho não dispersivo. O gás de arraste é o oxigênio de alta pureza; a temperatura de combustão da alíquota é de 680°C; trabalha na faixa de 4 ppb a 25000 ppm e os resultados são registrados em mgL^{-1} de carbono orgânico, carbono inorgânico e carbono total. O coeficiente de variação do equipamento nas análises é de até 2,0%. O equipamento permite análises de amostras sólidas ou líquidas.

Quanto a análise de concentração de cálcio, potássio e sódio, foram coletados 25 mL de efluente, acondicionado em recipiente de vidro, para posterior medição. Para realizar a medição das concentrações foi utilizado o Fotômetro Digimed DM62.

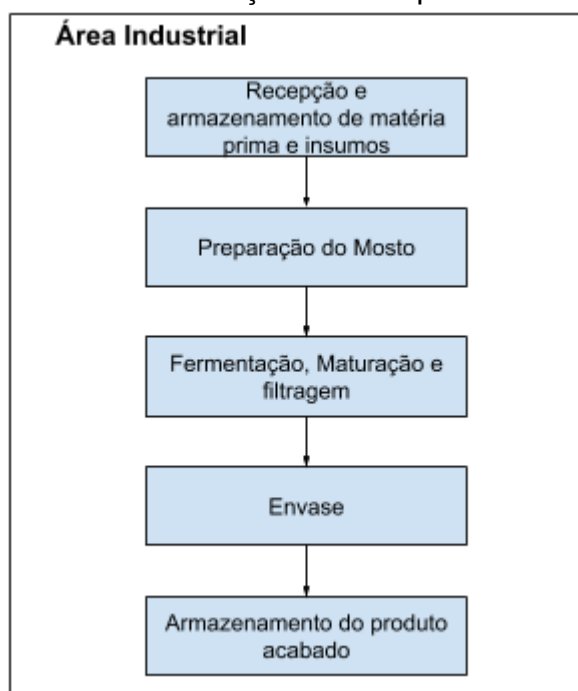
3.4- Metodologia para inventário de entradas e saídas

O presente capítulo tem por objetivo elaborar uma metodologia para inventariar as entradas e saídas do processo produtivo na Cervejaria, foco principal desta dissertação.

Como delimitação do escopo de trabalho a análise foi feita apenas no interior da empresa, sem contemplar os pontos de venda e clientes finais.

Para sistematizar o inventário, foram aplicadas as divisões de processos conforme é proposto por Olajire (2012) e Santos e Ribeiro (2005), contemplando as etapas de preparo de mosto e fermentação, maturação e filtragem. Contudo, para completar as atividades produtivas da instalação, foram incorporadas as etapas de recepção e armazenamento de matérias-primas e insumos, envase de produtos e armazenamento de produto acabado. Esta sistemática é representada na figura 14.

Figura 14 – Delimitação do escopo de trabalho



Fonte: Do Autor (2019)

Foram realizadas 4 visitas à empresa, no período de novembro/2018 a junho/2019, com o objetivo de estimar qualitativamente e quantitativamente as entradas e saídas pertinentes a cada uma das etapas dos processos estudados.

Para cada visita, foi utilizado um formulário padronizado, conforme o quadro 2, onde se pode identificar e anotar, individualmente por processo, cada um dos itens inventariados.

Quadro 2 – Ficha formulário para inventário de entradas e saídas

Processo:						Data:		
item	Descrição	Entradas <u>[un/mês]</u>	estoque <u>[un]</u>	saídas				
				Produto utilizável <u>[un/mês]</u>	Efluentes aquoso <u>[m³/mês]</u>	Emissões para atmosfera <u>[kg/mês]</u>	Resíduos sólidos <u>[kg/mês]</u>	Outros impactos

Fonte: Do Autor (2019)

O inventário de entradas e saídas consistiu na verificação em campo, com acompanhamento técnico operacional pela empresa, dos itens estocados e na estimativa de movimentação mensal ou anual, conforme o caso. A identificação e qualificação dos itens inventariados foram obtidas através de entrevistas e observações na área produtiva da empresa.

A estimativa de quantidade de cada resíduo estudado foi realizada através das entrevistas com os funcionários dos setores pertinentes da empresa e, para os itens que não foram possíveis estimar nas entrevistas, através das relações equacionais existentes nas literaturas referenciadas.

Ainda, foi feita uma visita à propriedade rural, objetivando verificar o armazenamento, manuseio e destinação dos resíduos coletados na cervejaria. A estratégia de visita consistiu em entrevista com os proprietários, através de questionamento sobre:

- Início e forma que iniciaram a criar gado leiteiro;
- Tempo que ocupavam a propriedade objeto da visita;
- Histórico do empreendimento;
- Quantidade de bovinos e capacidade produção de leite diária;
- Dinâmica de alimentação dos bovinos;
- Dinâmica de retirada dos resíduos na cervejaria;
- Forma de armazenamento, dosagem e descarte;
- Perspectivas de futuro (1, 3 e 5 anos);

Após a entrevista foi realizada uma visita ao galpão de armazenamento dos resíduos cervejeiros, ao pasto com gado e ao local de ordenhamento e a cozinha onde são elaborados os queijos e doce de leite.

O uso da metodologia possibilitou o desenvolvimento de uma visão mais crítica durante as visitas e organizou as ações para o levantamento de dados através de inventário e coleta de amostras. Os resíduos foram classificados para melhor conhecimento do impacto ambiental quando descartados, o que possibilitou a avaliação de possibilidades de reutilização conforme o que foi identificado na revisão bibliográfica.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Inventário das Entradas e Saídas

4.1.1 – Inventário – Recepção e armazenamento de insumos e matérias-primas

O inventário de entradas e saídas na recepção e armazenamento de insumos e matérias-primas foi realizado conforme a metodologia proposta, no período de novembro/2018 a junho/2019.

Todas as matérias-primas são fracionadas nos locais de armazenamento, quer seja com copos dosadores volumétricos ou com balanças de coluna. Durante a inspeção de campo foi possível fazer o acompanhamento do fracionamento de um gênero de malte. Pode-se constatar que a atividade é bem cuidadosa, não apresentando nenhuma perda significativa do produto por derramamento ou aspersão na forma de poeira. Não foram observados resíduos no solo, nem indícios significativos de perdas por varredura.

Muito embora a empresa utilize malte de diversas espécies, para este levantamento optou-se em generalizar o item. Isto se deve a duas razões principais: características similares quanto ao potencial de reutilização de resíduos e a preservação do segredo industrial. Não foi identificado nenhum tipo de perda, proveniente de etapas de manipulação, junto ao armazenamento e fracionamento do malte no interior da fábrica.

Foi localizada uma única embalagem de 25 kg de terra diatomácea, utilizada na filtração de cerveja. O consumo deste item é extremamente baixo, pois é adquirido apenas para atender a solicitação de cerveja clareada feita para um único ponto de venda. Não foi identificado nenhum tipo de perda junto ao armazenamento e fracionamento da terra diatomácea.

Outro item de baixo consumo é o carvão ativado, utilizado na filtragem da água utilizada no processo produtivo. Para este item, também não foi identificado nenhum tipo de perda junto ao armazenamento e fracionamento.

A empresa adquire, eventualmente, etanol junto a um posto de combustíveis automotivos localizado nas imediações da unidade fabril. O etanol é utilizado em

substituição ao etileno-glicol na aditivação da água utilizada no circuito fechado de refrigeração. A solução água-etanol é submetida a um processo de refrigeração, a -5,5°C, sendo utilizada para manutenção da temperatura do processo cervejeiro, através da circulação em sistemas encamisados (tubos e reservatórios) e trocadores de calor do tipo placas com gaxetas de vedação. A água aditivada é refrigerada por um Chiller, de fabricação nacional da Qualiterme, contendo fluido refrigerante R410-A. A adição do etanol se deve a evitar a formação de cristais de gelo na água gelada. Não foi identificado nenhum tipo de perda junto ao armazenamento e fracionamento do etanol.

O lúpulo, aveia e fermento cervejeiro são acondicionados em freezers horizontais, que comportam as embalagens intactas e aquelas que já sofreram fracionamento parcial. Não foi identificado nenhum tipo de perda junto ao armazenamento e fracionamento destes produtos.

Os produtos químicos hidróxido de sódio, desincrustante alcalino clorado, alvejante alcalino clorado, e ácido peracético são utilizados nos processos de limpeza e desinfecção das tubulações, tanques e equipamentos. Não foi identificado nenhum tipo de perda junto ao armazenamento e fracionamento destes produtos químicos.

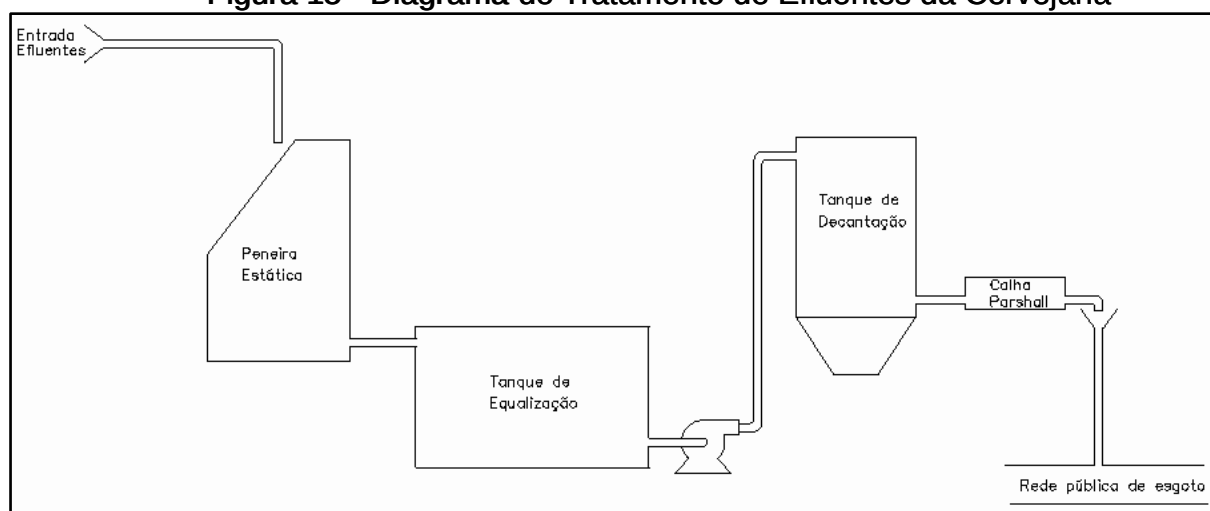
O dióxido de carbono é utilizado na correção da carbonatação da cerveja, processos de transferências sem bomba e no envase junto à enchedora isobarmétrica de garrafas. Não foi identificado nenhum tipo de perda de dióxido de carbono junto aos reservatórios, equipamentos e tubulações.

O GLP, ou gás liquefeito do petróleo, é utilizado na caldeira de vapor, como combustível na produção de vapor d'água saturado. Não foi identificado nenhum tipo de perda de produto junto aos reservatórios, equipamentos e tubulações.

A água utilizada pela empresa possui duas procedências: Companhia de Abastecimento de Campinas (Sanasa) e empresa de mineração local que explora a extração e venda de água do lençol freático. A água da Sanasa é utilizada no processo de limpeza da fábrica e no abastecimento dos sanitários. A água proveniente de poço semi artesiano é utilizada no processo de fabricação da cerveja e alimentação da caldeira a vapor.

O efluente líquido gerado pela empresa passa por um sistema simples de pré tratamento através de processo físico contemplando uma peneira estática na entrada, um reservatório de PVC, parcialmente enterrado, com capacidade de acúmulo estimado em 1000 litros, um reservatório metálico com fundo cônico com a função de decantador e uma calha Parshall para medição da vazão de saída. A Figura 15 apresenta o diagrama da estação de tratamento de efluentes existente na empresa.

Figura 15 - Diagrama do Tratamento de Efluentes da Cervejaria



Fonte: O autor (2019)

O efluente é destinado à rede de coleta pública da cidade de Campinas, sendo tarifado pelo volume de água recebido oriundo de empresa de mineração. A medição do volume de água utilizada é feita através de um hidrômetro instalado na tubulação de recepção da descarga dos caminhões tanques.

No tanque de decantação é formado lodo, sendo removido periodicamente e destinado ao aterro industrial.

No quadro 3 é apresentado o inventário de entradas e saídas na recepção e armazenamento de matérias-primas. Foram identificados os itens adquiridos pela empresa, o volume movimentado mensalmente, a existência de estoques e as características de cada item. Como saída, só foi considerado o efluente industrial, pois é pago sobre o volume de água adquirido.

Quadro 3 – Inventário de entradas e saídas recepção e armazenamento de matérias-primas

Item	Descrição	Volume movimentado	Estoque aparente	Observações
01	Estoque de Malte	10 ton/mês	250 kg	Procedência importado, armazenado sobre Paletes plásticos, em sacos de rafia laminados, com 25 kg
02	Terra Diatomácea	50 kg/mês	150 kg	Procedência importado, armazenado sobre Paletes plásticos, em sacos de rafia laminados, com 25 kg
03	Carvão Ativado	25 kg/ano	25 kg	Procedência importado, armazenado sobre Paletes plásticos, em sacos de papel, com 25 kg
04	Etanol veicular	100 L/mês	40 litros	Procedência nacional, armazenado em prateleira, em bombona plástica de 40 litros
05	Lúpulo	120 kg/mês	10 kg	Procedência importado, armazenado em geladeira em embalagens de 1 kg polimérica a vácuo
06	Aveia	25 kg/mês	25 kg	Procedência nacional, armazenado em geladeira, em sacos de papel, com 25 kg
07	Fermento cervejeiro	6 kg/mês	4 kg	Procedência importado, armazenado em geladeira em embalagens de 1 kg polimérica a vácuo
08	Hidróxido de Sódio	60 L/mês	120 litros	Procedência nacional, armazenado diretamente no piso, em bombonas plásticas de 40 litros
09	Desincrustante Alcalino Clorado	60 L/mês	40 litros	Procedência nacional, armazenado diretamente no piso, em bombonas plásticas de 40 litros
10	Alvejante Alcalino Clorado DALC-WH	60 L/mês	80 litros	Procedência nacional, armazenado diretamente no piso, em bombonas plásticas de 40 litros
11	Ácido Peracético 17% DALC-AP-17	60 L/mês	40 litros	Procedência nacional, armazenado diretamente no piso, em bombonas plásticas de 20 litros
12	Dióxido de Carbono	800 kg/mês	900 kg	Procedência nacional (White Martins), recebimento a granel e armazenamento em tanque metálico com capacidade de 970 kg a 15 kgf/cm ² .
13	Gás Liquefeito do Petróleo (GLP)	1200 kg/mês	1140 kg	Procedência nacional (Supergasbrás), recebimento a granel e armazenamento em 6 cilindros metálicos de 190 kg cada

				(total 1140 kg) e sistema de vaporização elétrico
14	Detergente Alcalino Clorado DALC-C	60 L/mês	160 litros	Procedência nacional, armazenado diretamente no piso, em bombonas plásticas de 40 litros
15	Energia elétrica	6168 kWh	não se aplica	A empresa é abastecida em baixa tensão, 220 Vca trifásico através de um transformador da companhia elétrica, instalado na rua
16	Água Potável companhia de abastecimento de Campinas (SANASA)	Não informado	Não identificado	Utilizada apenas na alimentação dos sanitários e limpeza da fábrica
17	Água de poço semi artesiano	185 m³/mês	Não identificado	Adquirida junto a uma empresa da região, oriunda do lençol freático. Média da medição mensal através de hidrômetro da companhia de água da cidade (SANASA)
18	Efluente	135 m³/mês	Não se aplica	Volume medido através do hidrômetro de água potável do item 17, conforme Resolução da agência reguladora Ares PCJ. Lançamento na rede pública.
19	Lodo do efluente	50kg/mês	não se aplica	Retirado em sacos plásticos e destinados ao aterro industrial.
20	Embalagem caixa de papelão	600 un/mês	600 unidades	Utilizadas para montagem de conjuntos promocionais de cerveja.
21	Garrafa de vidro 500 mL	20.000 un/mês	5.000 unidades	Utilizadas como embalagem do produto final.
22	Garrafa PET 1litro	1.000 un/mês	Não identificado	Utilizadas como embalagem do produto final.
23	Barril PET 30 Litros	15 un/mês	Não identificado	Utilizadas como embalagem do produto final.
24	Barril retornável inox 30 litros	Não informado	Não identificado	Os barris são retornáveis, normalmente de propriedade do cliente ou locação da empresa, não havendo consumo.

Fonte: O autor (2019)

4.1.2 – Inventário – Produção de Cerveja

O inventário de entradas e saídas no processo de produção de cerveja consistiu na verificação em campo, com acompanhamento técnico operacional da empresa, dos itens estocados e na estimativa de movimentação mensal ou anual

conforme o caso.

A etapa da produção de cerveja inicia-se através da moagem do malte de cevada, em uma área ventilada naturalmente, ao abrigo de intempéries. Para esta atividade é utilizado um moinho de rolos. A moagem gera como resultado de resíduos, os sacos de ráfia, que são reutilizados para acomodação do malte moído, e uma inexpressiva quantidade de resíduos na forma de varredura (cerca de 4 kg/mês) e pó resultante do processo mecânico de quebra do grão.

O malte moído é armazenado temporariamente nos sacos de ráfia, sobre paletes plásticos dispostos sobre o piso na sala de cozimento.

O processo de produção de mosto é por batelada e conta com 3 tinas de aço inoxidável: mostura (1250 L), filtragem (1500 L) e fervura (1250 L). A tina de mostura recebe a água já pré-aquecida proveniente do trocador de calor de resfriamento do mosto, sendo aditivada para correção do pH e pré-aquecida para receber manualmente o malte moído e iniciar a infusão. Os aditivos de correção de pH são recepcionados em sacos plásticos de 5kg, porém o uso é muito diminuto, fazendo com que o conteúdo de cada embalagem tenha autonomia para 2 ou 3 meses, conforme as características da água e portfólio de cerveja produzida. Segundo informações prestadas pela cervejaria, a perda de malte durante a dosagem na tina de mostura é muito pequena, cerca de 2 a 3 kg/mês.

Após o processo de produção do mosto, o produto é bombeado em transferência da tina de mostura para a tina de filtração, onde ocorre a filtragem do mosto quente. Esta etapa gera cerca de 700 kg de bagaço por dia o que equivale a uma média de 18 ton/mês de malte úmido. O material é colhido manualmente, com a abertura da tina, e armazenado em bombonas plásticas de 200 litros, que são comercializadas com a propriedade rural, produtora de leite e derivados. A coleta e remoção dos resíduos é feita diariamente pelo empreendimento rural.

O mosto filtrado é direcionado à tina de fervura que, com a adição de lúpulo e floculante, conforme a etapa de processo, sofre um aquecimento controlado por tempo determinado, conforme a receita em curso. Ao término desta etapa, o mosto aditivado é transferido para um trocador de calor, sobrando na tina de fervura o trub quente. Este resíduo é acondicionado juntamente com o bagaço de malte,

comercializado com produtor de leite e derivados. Estima-se a geração de 20 kg/dia de trub quente, o que totaliza cerca de 516 kg/mês.

A retirada do trub é através de bombeamento para um filtro tipo bag externo. O filtro concentra o material mais viscoso e os sólidos suspensos, permitindo que o líquido seja separado com destinação ao piso e as canaletas de coleta para a estação de tratamento de efluentes.

Eventualmente, resíduos líquidos mais densos e viscosos que se alojam nas canaletas do piso da área de processos são coletados e destinados juntamente com o bagaço de malte para a destinação apresentada.

O mosto quente aditivado é direcionado para um trocador de calor de duas fases. Na primeira, o mosto é resfriado através da troca de calor com água ambiente. O mosto é ligeiramente resfriado e a água aquecida é destinada para o tanque de água quente (50 a 60°C), com capacidade para 2,6 m³, que será utilizada posteriormente no novo batch de cerveja na tina de mostura.

A segunda fase de resfriamento, no mesmo trocador de placas, é com o fluido refrigerado, aditivado com etanol (em substituição ao etileno glicol) cuja solução é de 50%. Após este resfriamento o mosto sai a cerca de 18° C e é destinado aos tanques de fermentação e maturação.

A transferência do mosto frio é com a dosagem de oxigênio, necessário para a ação dos fungos cervejeiros. A estimativa de uso de oxigênio é de 0,75 m³/mês, recepcionado em cilindros de gases industriais.

Além da transferência do mosto frio, os tanques de fermentação e maturação recebem, também, o fermento cervejeiro hidratado, através de transferência pressurizada com dióxido de carbono.

Após o período de fermentação, que varia de acordo com as características da cerveja produzida, é feita a purga da cerveja e, conseqüentemente do fermento propagado. Uma parte do fermento pode ser reutilizado, porém o restante deve ser descartado. A integralidade do descarte também é feita quando a reutilização atinge quatro ciclos. A baixa ativação da levedura e a manutenção da temperatura na ordem de 2°C garantem a sua floculação e precipitação, o que facilita no processo

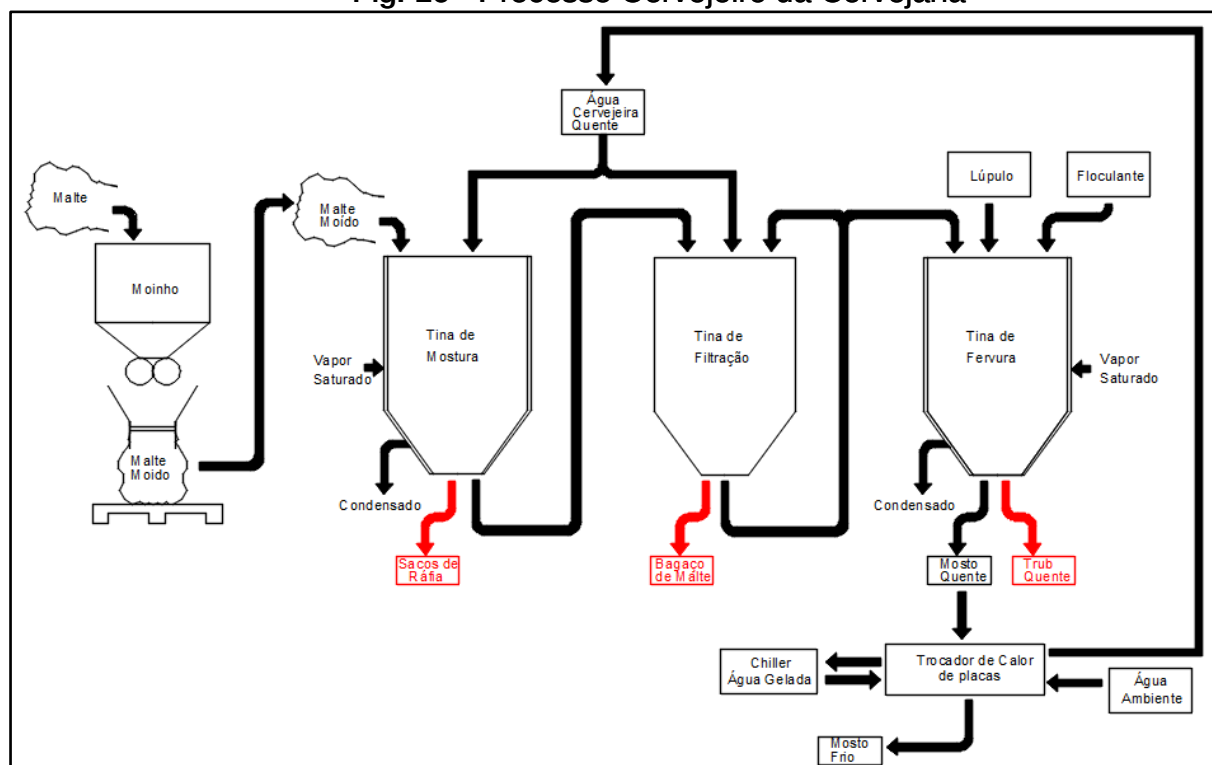
de remoção. No processo acompanhado, estima-se que o descarte seja em torno de 100 kg para um tanque de 5000 litros, isso equivale a geração aproximada de 500 kg/mês. O fermento descartado é acondicionado em bombonas de 20 ou 30 litros de destinadas à propriedade rural, a título de doação.

Durante o estágio de fermentação há a produção natural de dióxido de carbono que, inicialmente, é todo descartado. Na sequência da fermentação, os tanques são mantidos pressurizados de 1 a 2 Bar, sendo o excedente de liberado para a atmosfera e, quando maturada e pronto para envase, 0,5 a 1,5 Bar conforme o tipo de produto.

A clarificação através de filtragem com terra diatomácea é muito pequena, cerca de 5.000 litros mês sendo estimado um consumo de terra diatomácea na ordem de 50 kg/mês.

A figura 16 apresenta a síntese do processo de fabricação de cerveja na Cervejaria estudada.

Fig. 16 - Processo Cervejeiro da Cervejaria



Fonte: o Autor - Julho 2019

No quadro 4 é apresentado os principais resíduos identificados no processo de produção de cerveja, o volume movimentado e suas características.

Quadro 4 – Inventário de entradas e saídas na produção de cerveja

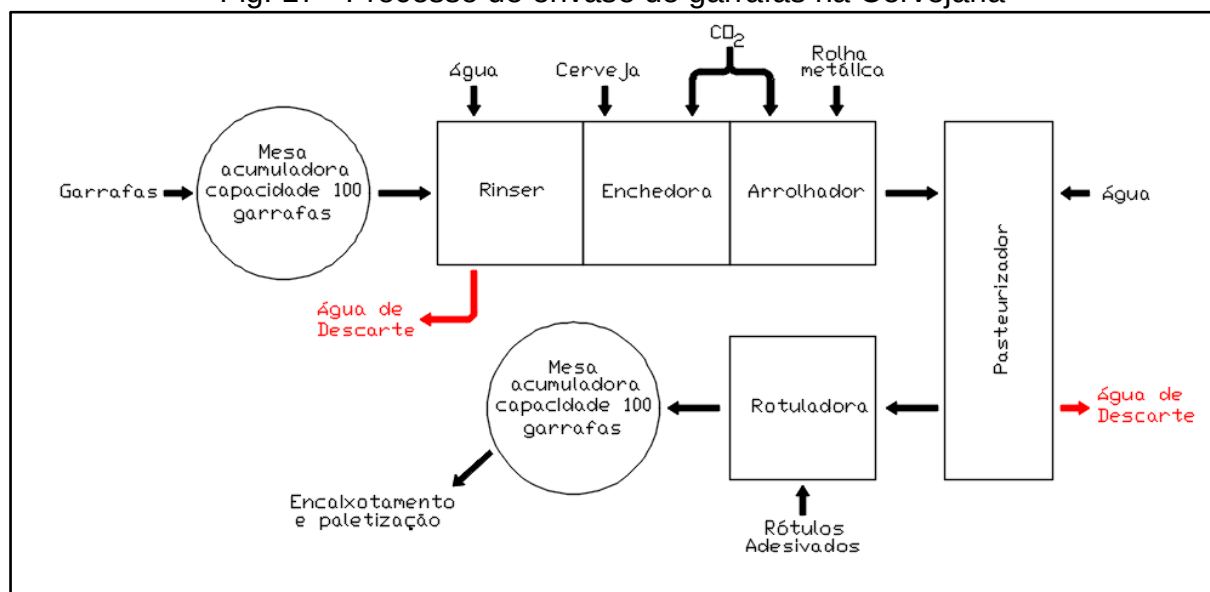
Item	Descrição	Volume movimentado	Observações
01	Sacos de Ráfia	400 un/mês	Os sacos de rafia, com capacidade de 25 kg, são utilizados como embalagens do malte e terra diatomácea. São reutilizados no processo de moagem e comercializados após do uso no processo de mosto.
02	Bagaço de Malte	18 ton/mês	O bagaço de malte é comercializado com Sítio local, propriedade produtora de leite e derivados.
03	Trub	516 kg/mês	É misturado com bagaço de malte, possuindo a mesma destinação.
04	Água quente	2800 L/dia	Água com temperatura de 50 a 60°, gerada na primeira fase do trocador de placas. Reutilizada no tanque de água quente.
05	Varredura de malte	7 kg/mês	Varredura na área de moagem de malte e tina de mostura. A destinação do resíduo é mistura com o bagaço de malte.
06	Terra diatomácea	50 kg/mês	A terra é dosada na clarificação da cerveja, mas para um único ponto de venda. A destinação da terra diatomácea é a doação para o Sítio local, propriedade produtora de leite e derivados.
07	Levedura cervejeira	500 kg/mês	A levedura cervejeira é doada para o Sítio local, propriedade produtora de leite e derivados.
08	Dióxido de carbono	800 kg/mês	Liberado à atmosfera durante o processo de fermentação e maturação da cerveja. Estimativa segundo a literatura

Fonte: O autor (2019)

4.1.3 – Inventário – Envase de Cerveja

A unidade fabril da cervejaria visitada envasa cerveja em barris de 30 litros e garrafas de vidro descartáveis de 500mL, garrafas em PET de 1 litro e growlers conforme demanda dos clientes frequentadores do espaço.

Fig. 17 - Processo de envase de garrafas na Cervejaria



Fonte: o Autor (2019)

Atualmente, o maior volume produtivo está nos barris de chope, seguido pelas garrafas de vidro 500 mL. O processo de envase foi automatizado recentemente através da aquisição de uma linha de envase, fabricante Saumec e capacidade 600 garrafas/hora, composta por: duas mesas acumuladoras, um conjunto tribloco enchedor (rinser, envasadora e tampadora), um pasteurizador e uma rotuladora autoadesiva. A figura 17 apresenta o diagrama das máquinas existentes na linha de envase de garrafas da fábrica.

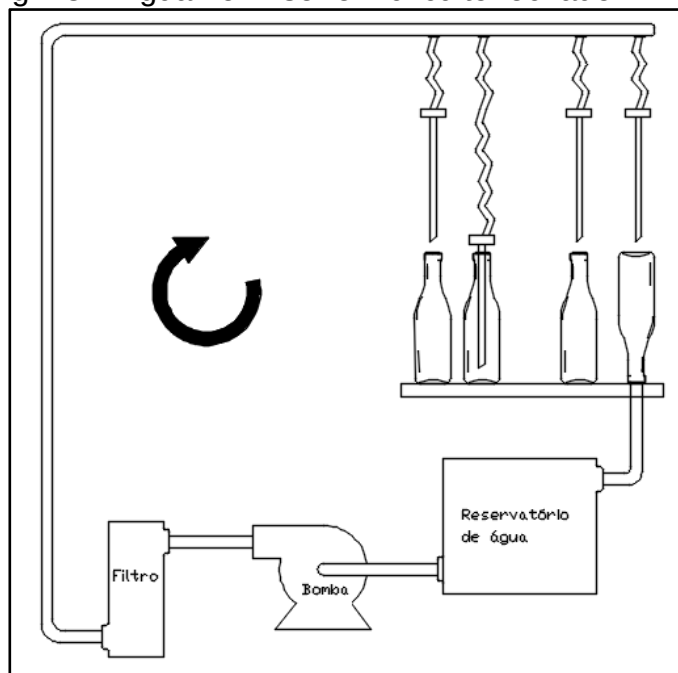
O palete de garrafas novas é retirado do estoque e acomodado próximo à mesa de acúmulo de entrada. Para o uso, os operadores retiram os plásticos envoltivos presentes nos paletes com garrafas (stretch) e as chapas de fibra de madeira (chapatex) que separam as camadas de garrafas nos paletes. O stretch é direcionado para a área de recicláveis e a chapatex é segregada para devolução ao fornecedor de garrafas na dinâmica de logística reversa.

As garrafas são alimentadas manualmente na mesa acumuladora de entrada e esta, através de movimento rotacional, encarrega-se de abastecer a esteira de entrada do conjunto de enchimento.

O conjunto de enchimento é composto pelo Rinser, Enchedora e Tampadora. Todos estes equipamentos ou dispositivos possuem característica de funcionamento rotativo.

No rinser, as garrafas são enxaguadas com água proveniente de um circuito fechado que filtra a água utilizada e reutiliza na limpeza das demais garrafas. A figura 18 contempla o modelo utilizado no processo de enxague.

Fig. 18 – Água no rinser em circuito fechado



Fonte: o Autor (2019)

A água do rinser, cerca de 100 litros, é substituída diariamente. A enchedora é do tipo isobarométrica, que equilibra a pressão interna da garrafa com a cúpula da enchedora, através da injeção de dióxido de carbono antes do enchimento com líquido. O processo é com pressão positiva, através do dióxido de carbono, não existindo significativa perda de cerveja durante o processo de enchimento das garrafas de 500 mL.

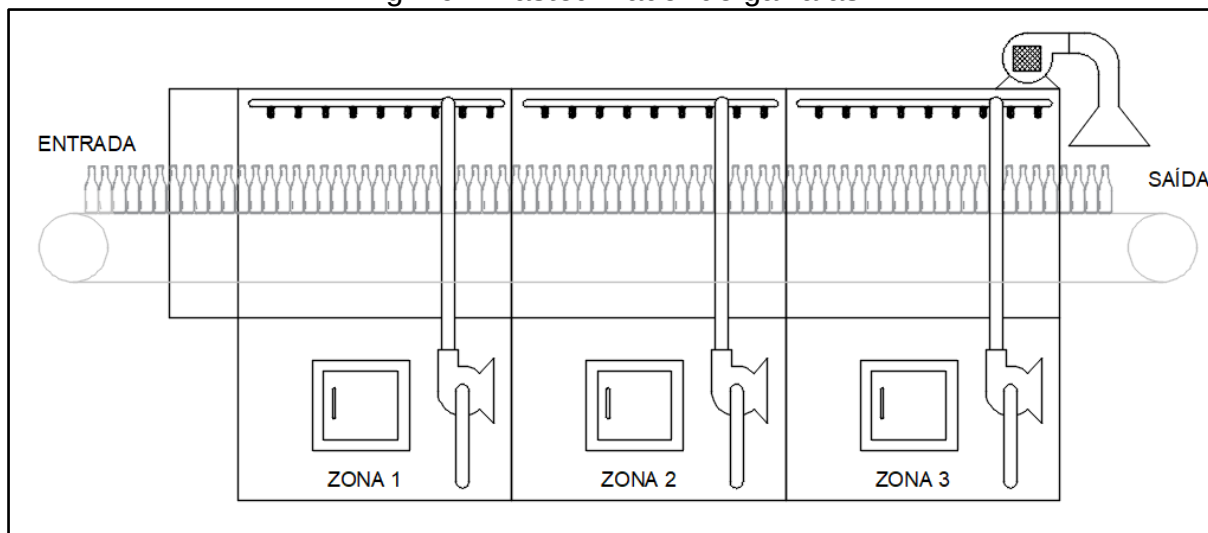
Diariamente, ao final do dia de trabalho, a enchedora é enxaguada e sanitizada através de processo CIP (*Cleanning in Pipe*). Estima-se um consumo de água na ordem de 100 L/dia e solução de CIP 100 L/semana.

Não foi identificado perda significativa de produto na tampadora, o índice de perda de garrafas, por quebra devido tamponamento, situa-se em 0,33% do volume produzido. No dia que foi acompanhado a produção, ocorreram 20 quebras de garrafas em um total de 6000 garrafas produzidas.

O pasteurizador é do tipo esteira polimérica com ducha de água quente. É composto por três zonas: zona 1 - aquecimento (40°C), zona 2 - pasteurização

(64°C) e zona 3 - resfriamento (30°C). Cada zona possui bacia de contenção de água e bombeamento em ciclo fechado. A figura 19 reproduz simplificada o equipamento.

Fig. 19 – Pasteurizador de garrafas



Fonte: o Autor (2019)

Não foi identificado perda de produtos no pasteurizador de garrafas. A água utilizada na pasteurização não possui nenhum tipo de ativação, porém é integralmente substituída semanalmente, cerca de 1300 litros.

A rotuladora trabalha com rótulos autoadesivos, o que simplifica bastante o processo, se comparado com a rotuladora convencional com rótulo não adesivado. Assim, não foi identificado perda de materiais junto à rotuladora.

De forma geral, o envase não mostrou descartes significativos, com exceção das caixas de papelão proveniente de devolução de produtos, fitas plásticas utilizadas na amarração de matérias-primas e embalagens, vidro devido quebra de algumas garrafas e rolhas metálicas (principalmente as que estavam sendo utilizadas nas garrafas que vieram a se quebrar).

No quadro 5 é apresentado o resumo dos descartes observados na operação de envasamento.

Quadro 5 – Descartes observados no envase da empresa avaliada

Item	Descrição	Volume descartado	Observações
01	Filme plástico Strech	12 kg/mês	O filme plástico envolve os paletes de garrafas novas vazias, sendo doado para uma cooperativa de recicláveis local.
02	Fitas de amarração	4,8 kg/mês	As fitas de amarração envolvem os paletes de garrafas novas vazias, são doadas para uma cooperativa de recicláveis local
03	Chapas de fibra de madeira (Chapatex)	70 unidades	Fazem a separação entre camadas de garrafas nos paletes. São devolvidos ao fabricante das garrafas (logística reversa).
04	Água	7.000 L/mês	A Água é descartada diariamente no Rinser e enchedora e semanalmente no pasteurizador. A destinação é a estação de tratamento de efluentes da empresa.
05	Garrafas de vidro	70 un/mês	As garrafas descartadas são predominantemente descartadas após o arrolhamento, devido quebra. Não foram considerados os descartes devido a devoluções do mercado. As garrafas e cacos de vidro são doadas para uma cooperativa de recicláveis local.
06	Dióxido de Carbono	Não estimado	O processo de enchimento apresenta perda de CO ₂ em dois momentos: na eliminação do ar da garrafa durante o enchimento e na eliminação de ar da garrafa após o enchimento (antes do arrolhamento). Há, também, perda de CO ₂ junto as garrafas cheias que se quebram no processo e nas garrafas devolvidas pelo mercado. O gás é perdido para o ambiente.
07	Cerveja	20 litros/mês	A perda de cerveja ocorre com a quebra de garrafas, no momento da limpeza CIP. Não foram considerados os descartes devido a devoluções do mercado. A destinação é a estação de tratamento de efluentes da empresa.
08	Solução CIP	7.000 L/mês	A Água é descartada semanalmente no sistema de limpeza CIP. A destinação é a estação de tratamento de efluentes da empresa.
09	Rolhas metálicas	100 un/mês	O descarte de rolhas metálicas é predominantemente devido a falhas no arrolhamento ou quebra das garrafas cheias. Não foram considerados os descartes devido a devoluções do mercado. As garrafas e cacos de vidro são doadas para uma cooperativa de recicláveis local.
10	Caixas de papelão	Não estimado	A perda de caixas de papelão, utilizadas na embalagem das garrafas finalizadas é exclusivamente devido a devoluções do mercado. As caixas de papelão descartadas são doadas para uma cooperativa de recicláveis local.

Fonte: O autor (2019)

4.2 – Caracterização dos Resíduos

No estudo realizado na Cervejaria constataram-se os seguintes resíduos sólidos industriais:

- Orgânicos: varredura de malte, bagaço de malte, trub e levedura de cerveja.
- Sintéticos: Fitas de amarração, plástico de *stretch*, sacos de ráfia, papelão, vidro e carvão ativado.
- Minerais: Terra Diatomácea.

A caracterização dos resíduos foi feita de duas formas: verificação das características físico-químicas para os resíduos do grupo orgânico e toxicológica segundo a ABNT NBR 10004:2004.

No quadro 6, é apresentado a classificação dos resíduos identificados na Cervejaria estudada conforme a metodologia descrita na norma ABNT NBR 10.004.

Quadro 6 – Classificação ABNT NBR10.004 dos Resíduos sólidos da empresa

Resíduo	Classificação ABNT NBR 10004	Destinação adotada na empresa
Bagaço de Malte	II A	Comercializado com produtor de derivados de leite
Varredura de malte	II A	
Trub	II A	
Levedura	II A	Doado para produtor de derivados de leite
Terra Diatomácea	II A	
Carvão Ativado	II B	
Varredura geral	II A	Descarte na coleta pública do município com destinação ao aterro sanitário de Paulínia/SP
Bombona e frascos plásticos	II B	
Caixas de papelão	II A	
Rolhas Metálicas	II B	Doado para cooperativa de reciclagem local.
Garrafas e cacos de vidros	II B	
Filme plástico Stretch	II B	
Fita plástica de amarração	II B	
Sacos de Ráfia	II B	

Fonte: O Autor (2019)

A caracterização do resíduo orgânico, em termos físico-químicos, bagaço de malte, destinado à alimentação de gado em propriedade produtora de leite e derivados, foi submetido a ensaio físico-químico e apresentou as características indicadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Caracterização físico-química do resíduo de bagaço de malte

Característica	Valor
Turbidez [NTU]	24.600
Cor [Pt-Co]	5280
Na [ppm]	1,7
Ca [ppm]	0,7
TOC [mg/L]	83130
IC [mg/L]	102

Fonte: O Autor (2019)

Na avaliação do quadro 6, pode-se verificar que pelos resultados apresentados, o resíduo orgânico proveniente do processo de produção de cerveja apresenta elevadas concentrações de matéria orgânica, podendo ser traduzida pelos elevados valores de turbidez apresentados, sendo que a turbidez pode ser vinculada à concentração de substâncias coloidais em suspensão. Igualmente, os elevados valores de TOC confirmam esta alta concentração de orgânicos. Isso se deve pela presença, por exemplo, neste resíduo, de altas taxas de proteínas e fibras. Comparando os resultados encontrados com outros valores da literatura, Mathias et al. (2014) analisou resíduos de produção de cerveja com percentuais em torno de 26% em termos de proteína total.

Resultados semelhantes são encontrados em outros trabalhos (Beefpoint, 2004; Brochier e Carvalho, 2009).

Ainda, há na literatura a menção de altas concentrações em termos de demanda química de oxigênio (DQO), em torno de $10.769,9 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$, sendo este um importante parâmetro que demonstra risco ambiental de descarte inadequado (Brochier e Carvalho, 2009).

Já em termos de macro nutrientes presentes, os resíduos úmidos de cerveja analisados neste trabalho, apresentam valores de $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ de íons Na^+ e $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ para íons Ca^{2+} .

Estes resultados igualmente estão de acordo com a literatura (Beefpoint, 2004), sendo que alguns trabalhos expressam os macros nutrientes em termos de teor de cinzas (teor este que representa a concentração de minerais presentes nos

resíduos) (Mathias et al. (2014), Beefpoint (2004) e Brochier e Carvalho (2009)).

4.3 – Proposição de Reutilização

Foi realizada visita à propriedade rural parceira da cervejaria avaliada, que é uma propriedade familiar, responsável pela destinação final dos resíduos de bagaço de malte, trub, terra diatomácea e levedura gerados no processo produtivo da cervejaria.

O sítio possui área aproximada de 16 ha estando localizado na cidade de Campinas/SP, junto à rodovia Lix da Cunha (antiga estrada para Indaiatuba/SP), a 12 km de distância da Cervejaria. Possuindo, atualmente, 50 cabeças de gado sendo 14 vacas leiteiras, com produção diária de 120 litros.

Na década de 90, a propriedade possuía capacidade produtiva de 1.000 litros de leite por dia e recolhia resíduos diretamente de uma grande cervejaria local, a Companhia Antártica. No final da década de 90 a cervejaria Antartica modificou o modelo de gestão de resíduos, repassando-os para uma empresa especializada no transporte e comercialização de bagaço de malte. A perda de acesso direto ao resíduo fez com que a propriedade visitada começasse a adquirir de revendedores, aumentando os custos aquisição do bagaço de malte.

Com a queda do valor comercializado pelo litro de leite, optaram por concentrar a atividade do sítio na produção de queijos e doce de leite, produtos com maior valor agregado.

Atualmente a cervejaria avaliada é a única fornecedora dos resíduos utilizados no complemento nutricional dos animais, que se utilizam de pastagem durante o ano todo. A propriedade possui uma sistemática de retirada diária dos resíduos da cervejaria, o que totaliza mensalmente cerca de 15 ton. a 20 ton. de bagaço de malte com trub, 450 a 500 kg de levedura e algo em torno de 50 kg de terra diatomácea.

A retirada é feita pelo sitiante, através do uso de um pequeno caminhão de carroceria aberta em madeira. Os resíduos retirados são transportados em

bombonas plásticas de 200 litros cada (bagaço de malte com Trub e levedura cervejeira) e bombonas plásticas de 30 litros (terra diatomácea).

Na cervejaria, o trub é misturado ao bagaço de malte para destinação e disponibilizado para retirada, também em bombonas de 200 litros, a levedura é acondicionada.

A retirada do bagaço de malte misturado com trub é feita juntamente com a retirada da levedura e terra diatomácea, porém, o sitiante só remunera a cervejaria o valor equivalente ao volume de bagaço de malte retirado, que no momento das avaliações, estava em R\$ 15,00 por cada bombona de 200 kg, sendo os outros dois itens um acordo de cortesia.

Ao chegar no sítio, o bagaço de malte é armazenado em bombonas fechadas que, segundo o proprietário, chegando a durar 30 a 40 dias. Já a levedura, cerca de 20% do que é coletado diariamente é empregada como complemento de alimentação ao gado de forma imediata, isso se deve a alta capacidade de degradabilidade do produto, que se deteriora rapidamente quando armazenado fora de sistema com refrigeração apropriado. O restante da cevada (75% do volume coletado) é disposto diretamente no solo da pastagem da propriedade para agir como adubo. A dosagem de resíduos cervejeiro corresponde a 50% da alimentação global diária dos animais.

Os proprietários informaram que estão em processo de transferência de sede e que as atividades produtoras de leite e derivados devem, a partir do ano de 2020, se desenvolver nas imediações do município de Amparo/SP (cerca de 60km do município de Campinas). A mudança geográfica não implicará em nenhum prejuízo à cervejaria, pois o empreendimento rural prevê a continuidade das coletas de resíduos com apenas algumas adaptações de frequência de retirada.

No sítio, atualmente trabalham apenas os dois proprietários, pai e filho, no trato dos animais, retirada de leite e produção de queijos, e sua esposa, na fabricação do doce de leite. A comercialização de leite é tratada pelo pai e a dos demais derivados, pelo filho.

Diversos autores fazem proposições sobre utilização do bagaço de malte

diretamente na alimentação de animais. Vieira e Braz (2009) verificaram que a adição de até 15% de bagaço de malte na alimentação de suínos em crescimento e em terminação apresentavam os melhores índices de desempenho. Albuquerque et al. (2011) fazem um estudo semelhante, porém chegam a conclusão de que a fração ideal de dosagem do bagaço de malte na alimentação de suínos em terminação é de até 20%.

Geron e Zeoula (2007) apresentam um estudo realizado com a suplementação animal de vacas leiteiras com bagaço de malte, chegando a conclusão que a dosagem de até 15% apresenta os melhores resultados considerando os custos de aquisição do bagaço e o incremento da produção leiteira.

Mendonça (2012) avaliou a alimentação de cabras com bagaço de cerveja, não verificando nenhum ganho na produção leiteira dos animais. Entretanto, fixou a recomendação de dosagem em 20% para atender as necessidades nutricionais dos animais.

Outra proposição de utilização é feita por Santos e Ribeiro (2005), com a utilização do bagaço de malte na formulação de ração animal. Esta possibilidade é bastante interessante visto a disposição de várias fábricas de ração animal no entorno da cidade e a possibilidade em se agregar um valor econômico maior para o resíduo.

Oliveira (2008) apresenta um estudo contemplando a utilização da levedura de cerveja no complemento alimentar de vacas leiteiras. O autor apresenta a proposição em se utilizar milho, polpa cítrica e levedura de cerveja, resultando em ganho alimentar e manutenção na produtividade leiteira.

Fischer et al. (1979), fazem a proposição do uso de levedura de cerveja para ganho de peso de bezerros da raça Gir. Os autores concluem que existe relação significativa entre o ganho de peso e a suplementação com a levedura de cerveja, sendo a dosagem de 1 kg/dia a mais recomendada.

Fontes e Fischer (1979) fazem a proposição do uso de levedura de cerveja como substituto de suplementação proteica de vacas leiteiras da raça Holstein-

Frisian, não sendo constatado, após 6 semanas de experimentos, nenhuma elevação da produção de leite.

Mathias et al. (2014) avaliaram e caracterizaram os resíduos de bagaço de malte, trub e levedura de cerveja, constatando a existência de significativa fração proteica e teores de minerais no bagaço de malte, açúcares redutores no trub e proteínas na levedura. Tais características fizeram com que os autores considerassem estes resíduos como potencial para utilização na alimentação humana, animal e biotecnologia industrial.

Quanto as destinações possíveis, Mussato et al. (2008) considera as excelentes características do bagaço de malte para uso na produção do Xilitol, ácido láctico e compostos fenólicos.

Santos e Ribeiro (2005) trazem a possibilidade em se reutilizar a levedura no processo de inoculação para outras bateladas de processo futura. Os autores comentam que as cervejarias podem produzir o seu próprio fermento a partir de matrizes que já possuem. Contudo, ainda assim, devido a alta capacidade de propagação da levedura, o descarte inevitavelmente deverá ser feito. O processo produtivo da cervejaria estudada não contempla a propagação de levedura, porém possui a prática de reutilização do fermento durante 4 processos de fermentação. Outra possibilidade de utilização da levedura, segundo os mesmos autores, está na produção de ácidos orgânicos, mas que, assim como no caso do bagaço de malte, necessita estudar a viabilidade econômica e desenvolver indústrias para o processamento do resíduo.

Goulart et al. (2011) propõe a regeneração da terra diatomácea utilizada na filtração e clarificação da cerveja através de dois processos de tratamento térmico sequenciais, o primeiro a 105°C e seguinte a 700°C durante um período de tempo proporcional ao volume submetido à regeneração.

Debiagi et al. (2013), fazem a proposição de reaproveitamento de fibras vegetais como, por exemplo, o bagaço de malte para a fabricação de polímeros biodegradáveis a base de amido.

Bonato (2016) apresenta em seu estudo várias proposições para o reaproveitamento dos resíduos cervejeiros. Para o bagaço de malte as destinações possíveis são processamento para geração de biogás, utilização na alimentação de animais, fabricação de *cookies* e pães e substratos para a produção de cogumelos. Para os destinos possíveis para a levedura de cerveja, o autor apresenta fabricação de colas e adesivos, produção de celulose, e produção de bioetanol.

Acacio et al. (2011), apresentam que grande maioria do bagaço de malte descartado pelas cervejarias está sendo destinada como ração para gado, mas que outras aplicações existem como:

- tratamento de efluentes - na purificação de água contaminada com chumbo ou cádmio e na remoção de cor, principalmente nos efluentes de indústrias têxteis;
- produção de bioetanol e biogás, sendo este último apenas vantajoso para grandes cervejarias, que produzem mais de 17,5 m³/ano de cerveja, visto que o investimento é alto e necessita-se de grande quantidade de resíduos para a produção do combustível;
- produção de tijolos cerâmicos - com o aquecimento nos fornos cerâmicos, as fibras de cevada são queimadas deixando em seu lugar poros que elevam as características de resistência física dos tijolos;
- fabricação de briquetes de carvão. No Japão esta alternativa de reutilização já é comercial, apresentando poder calorífico do produto a base de bagaço de malte na ordem de 27 MJ/kg, muito próximo aos valores encontrados nos carvões de uso tradicional;
- compostagem, cultivo de cogumelos, cozimento e produção de plásticos biodegradáveis.

Krämer, 2010, faz uma proposição para a recuperação do dióxido de carbono (CO₂) liberado ao meio ambiente pelo processo de fermentação e maturação da cerveja em microcervejarias. Segundo o autor a quantidade de CO₂ recuperável é 0,02 kg/L de cerveja produzida, o que equivale à quantidade de CO₂ necessária para a produção de cerveja considerando todos os seus usos no processo produtivo.

As possibilidades de reuso dos resíduos cervejeiros são bastante amplas mas a cervejaria estudada segue a tendência apresentada pela literatura, destinando seu resíduo de origem orgânica à alimentação de animais. No ponto de vista ambiental, a solução encontrada atende plenamente, porém não permite um melhor retorno sobre os produtos descartados.

De qualquer forma, o modelo de solução atual não se mostra duradouro pois o sitiante está se utilizando de uma dosagem muito superior ao que Geron e Zeoula (2007) apresentam em seus estudos, um equilíbrio econômico em 15% de dosagem do resíduo, contra os 50% aplicados pelo sitiante. Além disso, a cervejaria apresenta-se em franca expansão demonstrando crescimento produtivo a cada ano, ao contrário da propriedade rural que estagnou sua produção leiteira. O aumento do volume de retirada de resíduos pelo sitiante representa aumento de custo para o seu negócio, o que pode inviabilizar todo o processo. Mesmo que a Cervejaria reduza seu preço de venda do bagaço de malte, ainda assim é necessário buscar novas alternativas para destinação.

Em curto prazo, a destinação para suplemento de alimentação animal mostra-se a mais fácil e viável, porém é necessário desenvolver novos empreendimentos rurais bovinos, avícolas ou ainda de piscicultura. Tarefa não muito fácil na região de Campinas visto ao seu viés tecnológico e industrial.

Uma excelente oportunidade, a médio e longo prazo, se mostra nas opções de utilização dos resíduos na fabricação de polímeros biodegradáveis, visto que a região oferece excelentes condições para o desenvolvimento deste insumo, pois representa uma grande oportunidade ambiental para reduzir o uso de plásticos nos grandes centros urbanos e na produção de adoçantes dietéticos (Xilitol).

Por outro lado, o empreendimento rural do Sr. Odair pode vislumbrar duas grandes oportunidades: a utilização do excedente de resíduo no cultivo de cogumelo, produto de alto valor agregado, ou mesmo buscando parcerias junto a olarias, principalmente da região de Pedreira/SP (cidade vizinha a Amparo/SP e caracterizada por ser um centro de produção de cerâmicas e porcelanas) para utilização do bagaço de malte na fabricação das suas peças, conferindo maior resistência estrutural para elas.

Sobre a disposição de terra diatomácea, muito embora não possa ser considerada como resíduo perigoso, a proposição seria deixar de direcionar ao produtor rural e descartá-la em aterro sanitário, através do serviço de coleta pública. A disposição direta sobre o solo não representa nenhum ganho à propriedade e não corresponde às melhores práticas ambientais. Uma alternativa seria direcioná-la para olarias ou outra indústria que possa absorvê-la em seu processo produtivo. Entretanto, a quantidade gerada é tão pouca que inviabiliza qualquer trato mais sofisticado, com exceção da possibilidade de reciclá-la através de tratamento térmico. Tal proposição mostra-se bastante interessante, mas necessita de investigação e avaliação mais abrangente.

O reaproveitamento do dióxido de carbono é outra grande oportunidade de redução de custos e minimização de emissões atmosféricas que a Cervejaria possui. Com a modernização dos equipamentos e acesso à tecnologia torna-se cada vez mais viáveis investimentos nestas ações. Assim como na questão elétrica, onde a empresa mostrou índices de consumo superior a literatura, a instalação de placas fotovoltaicas poderia proporcionar economia financeira e melhoria na sustentabilidade.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cervejaria avaliada é uma empresa em franca expansão no segmento de microcervejarias na região de Campinas/SP, e foi e está sendo muito bem equipada para enfrentar o aumento da demanda presente.

As instalações físicas são apropriadas para o momento, mas fica evidente a necessidade futura próxima de ocupar outra área com melhores oportunidades para expansão física.

Os processos de produção de cerveja são bastante similares ao que Rebello (2009) e Härte (1997) apresentam em suas obras. Contudo, a variabilidade no portfólio de produtos que a empresa produz e a limitação de capacidade de investimento, fazem com que alguns processos sejam feitos de forma mais manual e ou com maior flexibilidade de aplicações.

Os resíduos observados, gerados no processo produtivo, confirmaram o que Olajire (2012) e Santos e Ribeiro (2005) apontaram em suas obras. Como principais resíduos da cervejaria estão: o bagaço de malte, a levedura de cerveja e o trub. No entanto, outros resíduos são gerados: rolha metálica, garrafas e cacos de vidro, filme plástico, fitas plásticas, terra diatomácea, carvão ativado, embalagens plásticas, caixas de papelão e sacos de rafia, entre outros.

A quantificação dos volumes foi extremamente difícil de quantificar, pois a empresa não dispunha de um controle na linha de tempo e, em face de variabilidade dos tipos de cerveja produzidas, os números não estavam muito claros para a operação, apresentando constantemente divergências ou incoerência nos valores informados.

Os quadros 8 e 9 apresentam os valores estimados de geração de resíduos respectivamente para produção e envase. Nos mesmos quadros, são apresentados indicadores de consumo relativos a produção média de 50.000 L/mês.

Quadro 8 – Descartes observados na produção de cerveja da empresa avaliada

Item	Descrição	Volume descartado	Indicador
01	Sacos de Ráfia	400 un/mês	8 unidades de sacos de rafia/m³ de cerveja produzida.
02	Bagaço de Malte	18 ton./mês	0,36 ton. de bagaço de malte/m³ de cerveja produzida
03	Trub	516 kg/mês	10,32 kg de Trub/m³ de cerveja produzida
04	Varredura de malte	7 kg/mês	0,14 kg de varredura/m³ de cerveja produzida
05	Terra diatomácea	50 kg/mês	1,0 kg de terra diatomácea/m³ de cerveja produzida
06	Levedura cervejeira	500 kg/mês	10 kg de varredura/m³ de cerveja produzida
07	Dióxido de carbono	800 kg/mês	16 kg de CO ₂ /m³ de cerveja produzida

Fonte: O autor (2019)

Quadro 9 – Descartes observados no envase de cerveja da empresa avaliada

Item	Descrição	Volume descartado	Indicador
01	Filme plástico Strech	12 kg/mês	0,24 kg/m³ de cerveja envasada.
02	Fitas de amarração	4,8 kg/mês	0,096kg/m³ de cerveja envasada.
03	Chapas de fibra de madeira (Chapatex)	70 unidades	0,007 unidades/litro de cerveja envasada.
04	Água	7.000 L/mês	70% perda de água/litro de cerveja envasada.
05	Garrafas de vidro	70 un/mês	0,35% perdas de garrafas/garrafas produzidas.
06	Dióxido de Carbono	Não estimado	
07	Cerveja	20 litros/mês	0,2% perda de cerveja/litro de cerveja envasada.
08	Solução CIP	7.000 L/mês	35% água descartada/ garrafas envasadas
09	Rolhas metálicas	100 un/mês	0,5% perda de rolhas/garrafas envasadas
10	Caixas de papelão	Não estimado	

Fonte: O autor (2019)

Com os dados apresentados nos quadros 8 e 9, pôde-se avaliar os valores obtidos e compará-los com os valores apresentados na literatura. O resultado desta comparação é sintetizado no quadro 10.

Quadro 10 – Descartes observados na empresa avaliada

item	Descrição	Literatura	Cervejaria estudada
01	Água	4,9 m ³ /m ³ (Olajire,2012)	4,625 m ³ /m ³
02	Energia elétrica	126,9 kWh/m ³ (Olajire,2012)	156,9 kWh/m ³
03	Energia Fóssil	41,7 GJ/m ³ (Olajire,2012)	1,73 GJ/m ³
04	Subprodutos	143,6 kg/m ³ (Olajire,2012)	475,4 kg/m ³

Fonte: O autor (2019)

O indicador de consumo de água está bem alinhado com o que prevê Olajire (2012), contudo o número apresentado pela cervejaria avaliada é bastante alto, visto que ela não trabalha com garrafas retornáveis e, com isso, não possui lavadora de garrafas. Por trabalhar com vasilhames novos, o uso de água no rinser pode ser em circuito fechado, como já o é. O processo de sanitização de barris é totalmente manual com dois enxagues cada, pode-se concluir que o consumo de água na cervejaria deve estar concentrado na preparação de barris de chope.

O indicador de consumo de energia elétrica na cervejaria estudada é ligeiramente superior ao apresentado pela literatura, no entanto, pode-se concluir que a diferença deva ser em função da produção variável e do porte da empresa, entretanto, ainda assim, o número está coerente.

Em termos de utilização de energia fóssil, há uma divergência considerável entre a literatura e o indicador apresentado pela empresa. Essa diferença, em parte, pode estar na ausência de lavadora de garrafas retornáveis, mas ainda assim, a diferença é muito grande. Provavelmente a literatura deva estar considerando alguma relação não mencionada.

Como subprodutos foram utilizados a totalização de bagaço de malte, trub e levedura, o indicador da cervejaria ficou bem acima do contemplado pela literatura. A diferença se deve, muito provavelmente, ao portfólio de cervejas especiais que a unidade visitada trabalha.

Como apresentado nos capítulos 4.1.2 e 4.1.3 todos os resíduos gerados na cervejaria possuem destinos conhecidos. Os resíduos recicláveis ou reutilizáveis são comercializados ou doados à uma cooperativa de recicláveis local. Já os resíduos de origem orgânica como bagaço de malte, trub e levedura de cerveja são repassados à um produtor de leite e derivados situado nas imediações do município de Campinas. Este mesmo produtor é responsável pela destinação da terra diatomácea.

A utilização dos principais resíduos: bagaço de malte, trub e um percentual da levedura são utilizados para complementação da alimentação animal. Conforme constatado, para o sitiante, o reaproveitamento do volume integralizado de levedura não é vantajoso, pois ele só consegue aproveitar cerca de 20 % do que é coletado e o restante, necessariamente, é descartado no solo da propriedade, agindo como adubo, mas sem qualquer acompanhamento agrônomo ou ambiental. O mesmo ocorre com a terra diatomácea que, apesar da pequena quantidade descartada, também é disposta no solo da propriedade sem nenhum cuidado especial.

Outro ponto a se destacar é no tocante a capacidade de recepção do sitiante. A situação da propriedade, em número de cabeças de gado, é constante já há vários anos e não há nenhum plano de expansão. Um eventual aumento na geração de resíduos da cervejaria pode representar um desestímulo ao produtor visto que ele vem adquirindo o resíduo, remunerando a cervejaria pelo total retirado, por kg. No acordo tratado, ele é responsável pela retirada integral dos resíduos e um aumento no volume representa aumento de custo no seu negócio, pois não há capacidade e nem vantagens adicionais.

6 - CONCLUSÕES

Em face dos resultados obtidos e observações realizadas, os resíduos cervejeiros de natureza orgânica (bagaço de malte, trub e levedura) e mineral (terra diatomácea) gerados na empresa avaliada apresentam potencial de reciclagem e reutilização, sendo atualmente integralmente destinados para complementação de alimentação animal, porém com eficiência reduzida visto a baixa capacidade de absorção que o empreendimento rural possui para acomodar a demanda de crescimento da indústria.

A literatura mostra as possibilidades para diversas destinações de maior potencial de reaproveitamento e com possibilidade de maior agregação econômica, caracterizando o processo de *upcycling*.

Considerando a localização geográfica da cervejaria, sugere-se a avaliação da destinação do bagaço de malte para empresas produtoras de polímeros biodegradáveis. A utilização de artefatos plásticos biodegradáveis possui demanda crescente nos grandes centros consumidores e esta representa uma interessante oportunidade de destinação. Em alternativa, sugere-se sua utilização como adjunto na fabricação de tijolos cerâmicos estruturais ou criação de uma linha de produtos alimentícios complementar ao portfólio da cervejaria (por exemplo: petiscos salgados, barras de cereais e *cookies*).

Para a levedura de cerveja, sugere-se que a empresa opte por propagação de fermento próprio, diminuindo assim a aquisição do item de estoque e a destinação do excedente para empresa especializada na destinação deste item, de forma a garantir que 100% da levedura descartada possa ser reaproveitada no complemento alimentar animal.

Quanto ao dióxido de carbono, a destinação recomendada está na avaliação da viabilidade econômica em se instalar um sistema para coleta e reaproveitamento do gás liberado no processo de fermentação, o que poderia possibilitar a eliminação ou redução da emissão gasosa e compra do item de estoque.

Sugere-se a destinação da terra diatomácea para empresas de artefatos cerâmicos para o seu reaproveitamento ou destinação para empresa de compostagem e imediata eliminação da destinação atual, que consiste na deposição direta sobre o solo a título de adubo.

7- REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ISO 14004. **Resíduos Sólidos - Classificação**. ABNT: Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ISO 14040. **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estruturas**. ABNT: Rio de Janeiro, 2014.

ACACIO, K., KAPALDO, J., OREKOYA, M., SAHNI, S., APYAN, A., KIM, P., PRUSAK, M., ZAHIR, S., CHIEM, E., ARAIZA, M.R., SMITH, A., TOMLIN, S. (2011) IPRO 340: **Business study of alternative uses for brewers spent grain**. Illinois Institute of Technology, Final Project Report, Faculty advisors: M. Dushay and str. Lewis,. Disponível em <<https://bit.ly/2S6jdke>>, acesso em 10/07/2019.

ALBUQUERQUE, D. M. N.; LOPES, J. B.; KLEIN JUNIOR, M. H.; MERVAL, R. R.; SILVA, F. E. S.; TEIXEIRA, M. P. F. Resíduo desidratado de cervejaria para suínos em terminação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte/MG, v. 63, nº 2, p. 465-472, 2011. Disponível em <<https://bit.ly/2Y2bRUx>>, acesso em 09/07/2019.

AMLURB – Autoridade Municipal de Limpeza Urbana. **A coleta de lixo em São Paulo**. São Paulo. Disponível em <<https://bit.ly/2lYJBjY>>, acesso em 08/09/2019.

BARBIERI, José C.. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**. 2 ed.. São Paulo: Saraiva, 2007.

BEEFPOINT. **Resíduos de cervejaria na nutrição de bovinos de corte**. Piracicaba. Abr/2004. Disponível em <<https://bitty.ch/hkrm0>>, acesso em 05/01/2018.

BONATO, S. V.. **Método para gestão de resíduos na cadeia cervejeira do Rio Grande do Sul**. 2016. 103 f. Dissertação – Doutorado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2016. Disponível em <<https://bit.ly/30shuZG>>, acesso em 10/07/2019.

BRASIL. Decreto 6.871, de 4 de junho de 2009. **A padronização, a classificação, o registro, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas**.

Disponível em <<https://goo.gl/C3cRDq>>, acesso em 01/07/2019.

BRIGGS, D. E. et al. Metabolism of wort by yeast. **Brewing: science and practice**. Cambridge: Woodhead, 2004. cap. 12, p. 401-468.

BROCHIER, M. A.; CARVALHO, S.. Aspectos ambientais, produtivos e econômicos do aproveitamento de resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cordeiros em sistema de confinamento. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras/MG, V. 33, n. 5, p. 1392-1399, set/out., 2009. Disponível em <<https://bitty.ch/xjo6d>>, acesso em 05/07/2019.

CALLISTER, Jr., William D.. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. 2 ed.. São Paulo: Rio de Janeiro, 2014.

CERVBRASIL - Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Anuário 2016**. São Paulo. Disponível em <<https://bit.ly/2JK9rC0>>, acesso em 22/07/2019.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida dos produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

CNTL. **Implementação de Produção Mais Limpa**. Porto Alegre, Centro nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/ UNIDO/INEP, 2003. 42 p.. Disponível em <<https://goo.gl/X69PAj>>, acesso em 01/05/2018.

DEBIAGI, F.; IVANO, L. R. P. F. M.; NASCIMENTO, P. H. A.; OLIVEIRA, S. M.. Embalagens biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de resíduos agroindustriais. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, Londrina/PR, V. 01, n. 2, jul/dez , p. 57-67, 2012. Disponível em <<https://bit.ly/2DvVioF>>, acesso em 09/07/2019.

ECO-UNIFESP. **Princípio dos 3R's**. disponível em <<https://goo.gl/eLwLq8>>, acesso em 26/05/2018

FILLAUDEAU, L., AVET, P.B., DAUFIN, G. Water, wastewater and waste management in brewing industries. **Journal of Cleaner Production**: 14, 463-471, 2006. Disponível em <<https://bit.ly/2ScOYlw>>, acesso em 29/05/2018.

FISCHER, P.; FONTES, R.; KRATZ, F. L.. Efeito de uso de autolisado de fermento de

cerveja no ganho de peso de bezerros da raça GIR. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania/GO, V. 09, n. 1, jan/dez 1979. Disponível em <<https://bit.ly/2xDphXU>>, acesso em 09/07/2019.

FONTES, R.; FISCHER, P.. Experimento de substituição da suplementação protéica por autolisado de fermento de cerveja na alimentação de vacas leiteiras da raça Holstein-Frisian. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania/GO, V. 09, n. 1, jan/dez 1979. Disponível em <<https://bit.ly/30srLox>>, acesso em 09/07/2019.

FURTADO, M. R.. P+L: Brasil Assume Compromisso com a Produção mais Limpa. **Química e Derivados**, São Paulo/SP, n. 407, ago2002. Disponível em <<https://bit.ly/2IDIPdm>>, acesso em 07/09/2019.

GERON, L. J. V.; ZEOULA, L. M.. Silagem do resíduo úmido de cervejaria: uma alternativa na alimentação de vacas leiteiras. **Pubev Medicina Veterinária e Zootecnia**, Londrina/PR, V. 01, n. 8, art. 310, 2007. Disponível em <<https://bit.ly/2xA6exV>>, acesso em 09/07/2019.

GOULART, M.R.; SILVEIRA, C.B.; CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J. A.; MANFRED, S.; OLIVEIRA, A. F.. Metodologias para reutilização do resíduo de terra diatomácea, proveniente da filtração e clarificação de cerveja. **Revista Química Nova**, São Paulo/SP, V. 34, n. 4, pg. 625-629, 2011. Disponível em <<https://bit.ly/2XIKH5n>>, acesso em 08/07/2019.

LIMA, Danilo A. P.; WALTER, Fabio. Produção mais limpa e sustentabilidade na indústria de cerveja. In: XIV ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO AMBIENTAL E MEIO AMBIENTE, 19. 2017, São Paulo. **Anais XIV ENGEMA**. São Paulo, 2017. Disponível em <<https://bit.ly/2kJRLwt>>, acesso em 14/09/2019.

HÄRTE, F.L. Efficiency Analysis of Packaging Lines. Delft University Press. Neterland. 1997. Disponível em <<https://bit.ly/2YLf7Az>>, acesso em 12/07/2018.

KRÄMER, G. V.. **Recuperação de CO₂ em microcervejaria**. 2010. 53 f. Monografia – Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2010. Disponível em <<https://bit.ly/2XG6Tlu>>, acesso em 10/07/2019.

INSTITUTO ESTRE. Programa de Educação Ambiental. **Caderno Conceitual**. São

Paulo: 2014. Disponível em <<https://goo.gl/RVNBBA>>, acesso em 26/06/2018.

LAYRARGUES, Philippe P.. O cinismo da Reciclagem: O Significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. **Researchgate**, 2002. Disponível em <<https://goo.gl/NDMj3P>>, acesso em 26/05/2018.

LUSTROSA, Maria C.; MAY, Peter; VINHA, Valé. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2 ed.. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MALTEAR. **Produção de Malte**. Buenos Aires. Disponível em <<https://bit.ly/2G6bON5>>, acesso em 01/06/2018.

MATHIAS, T. R. S; MELLO, P.P.M.; SERVULO, E.F.C.. **Caracterização de resíduos cervejeiros**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Disponível em <<https://bit.ly/2Myofqb>>, acesso em 22/07/2018.

MEDEIROS, Denise D; CALÁBRIA, Felipe A.; SILVA, Gisele S. S.; FILHO, Julio C. G. S.. **Aplicação da Produção Mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção, São Paulo, abr. 2007. Disponível em <<https://goo.gl/gjKzx6>>, acesso em 01/05/2018.

MEGA, Jéssica F.; NEVES, Etney; ANDRADE, Cristiano J.. A Produção de Cerveja no Brasil. **Revista CITINO**, Joinville/SC: V01, nº1, 2011. Disponível em <<https://goo.gl/tvzg3H>>, acesso em 01/06/2018.

MENDONÇA, L. M.. **Utilização do resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cabras Anglo Nubiana em final de lactação**. 2012. 66 f. Dissertação – Mestrado em Ciências, Universidade Federal do Sergipe, São Cristovão, 2012. Disponível em <<https://bit.ly/2LdGHTQ>>, acesso em 09/07/2019.

MUSSATO, S.I., DRAGONE, G., TEIXEIRA, J.A., ROBERTO, I.C. **Total reuse of brewer's spent grain and biotechnological processes for the production of added-value compounds**. **Bioenergy: challenges and opportunities**, 2008. Disponível em <<https://bit.ly/32gcBo5>>, acesso em 14/07/2018.

OLAJIRE, A.A.. The brewing industry and the environmental challenges. **Journal of**

Cleaner Production. (2012). doi: 10.1016/j.jclepro.2012.03.003. Disponível em <<https://bit.ly/2SmhpUB>>, acesso em 29/05/2018.

OLIVEIRA, B. M. L.. **Suplementação de vacas leiteiras com *saccharomyces cerevisiae* CEPA KA500.** 2008. 62 f. Dissertação – Mestrado em Ciências Veterinárias, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2008. Disponível em <<https://bit.ly/30qVyOA>>, acesso em 09/07/2019.

PEIXOTO, K.; CAMPOS, V. B. G.; D'AGOSTO, M. A. **A coleta seletiva e a redução dos resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2005. disponível em: <<https://goo.gl/tYPMKo>>, acesso em 26/05/2018.

REBELLO, Flávia de F. P.. Produção de Cerveja. **Revista Agroambiental**, Inconfidentes/MG: V01, nº3, 2009. Disponível em <<https://goo.gl/M5uHvv>>, acesso em 29/05/2018.

RENSI, F.; SCHENINI, P. C.. Produção mais Limpa. **Revista de Ciências de Administração**, Florianópolis/SC: V.08, nº16, 2006. Disponível em <<https://bit.ly/2ID11Tk>>, acesso em 08/09/2019.

SANTOS, Mateus S.; RIBEIRO, Flávio M.. **Cervejas e Refrigerantes.** São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em <<https://goo.gl/2UnGAH>>, acesso em 01/06/2018.

SILVA, João B. A.. Cerveja. In: Venturini Filho, Waldemar G.. **Tecnologia de Bebidas – Matéria-Prima, Processamento, BPF / APPCC, Legislação e Mercado.** 1 ed.. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

SINDICERV - SINDICATO NACIONAL DAS CERVEJAS. **Atuação.** São Paulo. 2018. Disponível em <<https://goo.gl/UccZQ6>>, acesso em 25/01/2018.

VIEIRA, A. A.; BRAZ, J. M.. Bagaço de cevada na alimentação animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa/MG: V. 6, nº 3, p. 973-979, mai/jun 2009. Disponível em <<https://bit.ly/2UcdE3F>>, acesso em 09/07/2019.

VILHENA, A.; POLITI, E. **Reduzindo, reutilizando e reciclando: a indústria ecoeficiente.** CEMPRES – Compromisso Empresarial para Reciclagem. São Paulo: Senai, 2005.